

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA ROBOTIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Tvorba digitálního dvojčete robotické buňky v simulačním
prostředí Tecnomatix

Creation of a Digital Twin of a Robotic Cell in Simulation Tool
Tecnomatix

Student:	Bc. Martina Dašková
Vedoucí diplomové práce:	Ing. Václav Krys, Ph.D.

Ostrava 2019

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robotiky

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Martina Dašková

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2301T013 Robotika

Téma:

Tvorba digitálního dvojčete robotické buňky v simulačním prostředí
Tecnomatix
Creation of a Digital Twin of a Robotic Cell in Simulation Tool
Tecnomatix

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte možnosti a zaměření jednotlivých nástrojů simulačního systému Tecnomatix. Dále analyzujte dostupné informační zdroje v této oblasti.
2. Vytvořte simulační model výukového robotizovaného pracoviště s robotem ABB IRB140 s využitím simulačních nástrojů systému Tecnomatix.
3. Na základě získaných poznatků zpracujte doporučení pro tvorbu simulačních modelů robotizovaných pracovišť.
4. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a vytvořené simulační modely dle pokynů vedoucího.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 2007. 48 s.

ČSN ISO 690 *Informace a dokumentace - Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Český normalizační institut, 2010.

BURKOVIČ, J. *Navrhování robotizovaných montážních linek*. 1. vydání. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2008. 163 s. ISBN 978-80-248-1869-6.

Tecnomatix Knowledge Base - Siemens PLM Community. Dostupné z:


<https://community.plm.automation.siemens.com/t5/Tecnomatix-Knowledge-Base/tkb-p/tecnomatix-forum@tkb>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Kryš, Ph.D.**


Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry





prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2019



podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было с́еднано, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́еднано, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

20.5.2019



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Martina Dašková

Adresa trvalého pobytu autora práce: Drahanovice 212, 783 43

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DAŠKOVÁ, M. *Tvorba digitálního dvojčete robotické buňky v simulačním prostředí Tecnomatix: diplomová práce*. Ostrava: VŠB –Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2019, 80s. Vedoucí práce: Krys, V.

Tato diplomová práce se zabývá vytvořením digitálního dvojčete robotické buňky v simulačním prostředí Tecnomatix, konkrétně v jednom z jeho nástrojů Process Simulate. Práce popisuje tvorby simulačních modelů v tomto nástroji. Předlohou digitálního dvojčete je výuková robotická buňka s robotem ABB IRB140. V rámci simulace jsou vytvořeny úlohy kreslení fixem a přesun kostek pomocí robotu.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

DAŠKOVÁ, M. *Creation of a Digital Twin of a Robotic Cell in Simulation Tool Tecnomatix: Master Thesis*. Ostrava: VŠB –Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2019, 80p. Thesis head: Krys, V.

This thesis deals with creation of digital twin robotic cell in the Tecnomatix simulation environment, specifically in one of its tools called Process Simulate. The work describes creation of simulation models in this tool. The digital twin is based on the robot cell with robot ABB IRB140. To demonstrate the simulation itself, the tasks of drawing with a marker and moving with cubes by robot is used.

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Václavu Krysovi, Ph.D. za odbornou pomoc, vstřícnost a ochotu kdykoliv pomoci. Dále bych chtěla poděkovat panu Pavlu Hýžovi a vedoucímu oddělení simulace Ing. Zdeňku Thomasovi ze společnosti Chropýňská strojírna, a.s. Olomouc, kteří mi poskytli technickou podporu a udělili cenné rady při zpracování této práce.

Diplomová práce prezentuje znalosti nabyté v rámci řešení projektu: „Digitální dvojčata robotických systémů a jejich verifikace“, reg. č.: „SP2019/69“ financovaných ze státního rozpočtu České republiky, na kterém jsem se v průběhu magisterského studia podílela.

Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam použitých značek a symbolů	14
Seznam použitých zkratk	15
1 Úvod do řešení problematiky	16
2 Rešerše	17
2.1 Digitální dvojče	17
2.2 Digitální továrna Tecnomatix a její nástroje	18
2.2.1 Plant Simulation je nástroj pro:	20
2.2.2 Process Designer	21
2.2.3 RobotExpert	21
2.2.4 Robcad	22
2.2.5 Process Simulate Human	23
2.2.6 Jack	23
2.2.7 Process Simulate	24
2.3 Hardware / software požadavky	28
3 Zadané robotizované pracoviště	29
3.1 Popis	29
3.1.1 Popisovací efektor	30
3.1.2 Pneumatické dvou-čelistové chapadlo	30
3.1.3 Efektor pro kopírování trajektorie	30
3.1.4 Výměna nástrojů	31
3.1.5 Zabezpečení buňky	31
3.1.6 Parametry realizovaného pracoviště	31
3.2 Funkce	32
4 Příprava modelu pro simulaci	34
4.1 Převod na správný formát	34
4.2 Import do Softwaru Process Simulate	35
4.2.1 Vytvoření pracovní složky a knihovny	35
4.2.2 Příprava pracovního prostředí	35
4.2.3 Vložení komponentů do pracovního prostředí	37
5 Simulace	40
5.1 Nástroje používané na pracovišti	40
5.2 Kinematika jednotlivých pohyblivých součástí	41
5.2.1 Součásti	41

5.2.2	Kinematika	42
5.3	Vytvoření operací	47
5.3.1	Robotický program	47
5.3.2	Operace FALSE	48
5.3.3	Umístění kostek pracovníkem	49
5.3.4	Kreslení fixem	50
5.3.5	Přesun kostek	52
5.3.6	Výměna nástrojů	56
5.3.7	Tok materiálu	58
5.3.8	Logický blok Material_logic	59
5.3.9	Výměna přípravků	60
5.3.10	Logický blok robotu	61
6	Zdokonalení simulací	63
6.1	Kreslení šachovnice	63
6.2	Vytvoření dopravníku	64
6.2.1	Nastavení zastavovacích bodů	65
6.2.2	Nastavení senzorů	66
6.2.3	Logický blok dopravníku	67
6.2.4	Funkce dopravníku	69
6.2.5	Úpravy při překládání kostek	69
6.3	Úprava logického bloku robotu	70
7	Export programu do robotu	72
8	Souhrn doporučení pro tvorbu simulací robotizovaných pracovišť	73
8.1	Instalace softwaru	73
8.2	Použití správného formátu souboru	73
8.3	Vytvoření pracovní složky a knihovny	73
8.4	Příprava pracovního prostředí	74
8.5	Vkládání součástí	74
8.6	Robotické kontroléry	74
9	Závěr	75
	Seznam použité literatury	76
	Přílohy	79

Seznam obrázků

Obrázek 1- Digitální dvojče člověk [15]	18
Obrázek 2 - Digitální továrna Tecnomatix [18]	19
Obrázek 3 - Plant Simulation [19].....	20
Obrázek 4 - Process Designer [21].....	21
Obrázek 5 – Robot Expert [22].....	22
Obrázek 6 – Robcad [23].....	22
Obrázek 7 - Process Simulate Human [24]	23
Obrázek 8 - Jack [25].....	24
Obrázek 9 – Svařovací kleště [28]	25
Obrázek 10 - Simulace robotiky [30]	26
Obrázek 11 - Zadané robotizované pracoviště.....	29
Obrázek 12 - Varianty efektorů (zleva a) b) c) [35]	30
Obrázek 13 – Držák efektorů [35]	31
Obrázek 14 – Zásobník kostek [35]	32
Obrázek 15 - Přípravek pro list papíru [35]	32
Obrázek 16 – Horký drát [35]	33
Obrázek 17 - Vytvoření složky. cojt.....	34
Obrázek 18 - Vytvoření pracovní. složky	35
Obrázek 19 – Vytvoření knihovny	35
Obrázek 20 - Úvodní stránka Process Simulate	36
Obrázek 21 - Pracovní prostředí s oknem	36
Obrázek 22 - Uložení studie.....	37
Obrázek 23 - Define Component Type	37
Obrázek 24 - Výběr typu komponentu	37
Obrázek 25 - Insert Component.....	38
Obrázek 26 - Self součásti	39
Obrázek 27 - Working frame	39
Obrázek 28 - Používané nástroje.....	40
Obrázek 29 – Robot Toolbox	40
Obrázek 30 – Efektor [36].....	41
Obrázek 31 - Modeling Scope.....	42
Obrázek 32 - Object tree modeling.....	42
Obrázek 33 – Kinematics Editor	42
Obrázek 34 – Vytvoření linku.....	43
Obrázek 35 - Linky.....	43

Obrázek 36 – Barvy skupin	43
Obrázek 37 - Vazby.....	44
Obrázek 38 - Umístění osy pohybu	45
Obrázek 39 – Joint Dependency.....	45
Obrázek 40 – Pose Editor	46
Obrázek 41 – Joint Jog	46
Obrázek 42 – Operation Tree	47
Obrázek 43 – Robotic Program Inventory.....	47
Obrázek 44 – Vytvoření operace MAIN	48
Obrázek 45 – Path Editor	48
Obrázek 46 – Operace False.....	48
Obrázek 47 – Vytvoření Material flow operací	49
Obrázek 48 – Seřazení operací ve stromě	50
Obrázek 49 – Papír s obrazcem.....	51
Obrázek 50 – Tvorba operace Kreslení.....	51
Obrázek 51 – Tvorba Pick and Place Operation.....	52
Obrázek 52 - Umístění Pick a Place bodů	53
Obrázek 53 – Robot Setup	53
Obrázek 54 – Nastavení dat robotu	54
Obrázek 55 – Data v Path Editoru	55
Obrázek 56 – Pohybové příkazy	56
Obrázek 57 – Gripped Object List	56
Obrázek 58 – Seřazené operace	57
Obrázek 59 – Attach / Dettach	57
Obrázek 60 – Operace pozice Home	58
Obrázek 61 – Tok materiálu	58
Obrázek 62 – Vstupy a výstupy log. blok material_logic.....	59
Obrázek 63 – Parametry log. blok material_logic.....	60
Obrázek 64 – Display / Blank event.....	61
Obrázek 65 – Příkazy s hashtagy	61
Obrázek 66 – Logický blok robotu	62
Obrázek 67 – Kreslení šachovnice.....	63
Obrázek 68 – Vytvoření dopravníku.....	64
Obrázek 69 – Nastavení zastavovacích bodů.....	65
Obrázek 70 – Nastavení senzorů.....	66
Obrázek 71 – Vstupy / Výstupy-dopravník.....	67
Obrázek 72 – Parametry_1 - dopravník.....	67

Obrázek 73 – Parametry_2 - dopravník.....	68
Obrázek 74 – Parametry_3 - dopravník.....	68
Obrázek 75 – Akce-dopravník.....	69
Obrázek 76 – Vstupy- log. blok robotu	70
Obrázek 77 – Výstupy-log. blok robotu_1.....	70
Obrázek 78 – Výstupy-log. blok robotu_2.....	71
Obrázek 79 – Parametry - log. blok robotu	71
Obrázek 80 – Konstanty – log. blok robotu	71
Obrázek 81 – Vzor exportovaného programu.....	72

Seznam tabulek

Tabulka 1 – HW/SW požadavky [31].....	28
Tabulka 2 - Parametry realizovaného pracoviště [35].....	31
Tabulka 3 – Technické údaje efektoru [36].....	41
Tabulka 4 – Nastavení dat robotu	55
Tabulka 5 – Příklad přiřazení dat.....	55

Seznam použitých značek a symbolů

bar	Bar
cojt	Formát CAD souboru
Gb	Gigabyte
GHz	GigaHertz
jt	Formát CAD souboru
Kg	Kilogram
kW	Kilowatt
mm	Milimetr
N	Newton
s	Sekunda

Seznam použitých zkratk

CAD	Computer Aided Design
eBOP	Electronic Bill of Process
HW	Hardware
IoT	Internet of Things
PLM	Teamcenter manufacturing platform
SW	Software
TCP	Tool center point

1 Úvod do řešené problematiky

Pojem digitální dvojče je čím dál více diskutovaný v oblastech techniky. Jeho využití je všestranné a napomáhá zefektivnění procesů od vývoje až po výrobu. Umožňuje ověřovat funkčnost prototypů bez nutnosti jejich výroby a tím snižuje zátěž životního prostředí. Usnadňuje rozhodnutí pro renovaci, či reorganizaci procesů, poskytnutím možnosti si toto virtuálně otestovat.

Narůstá zájem ze strany průmyslových společností o tuto technologii, tím vzniká požadavek na vzdělání zaměstnanců, a tedy i studentů v této oblasti. Toto bylo motivací a důvodem vybrat si dané téma diplomové práce.

V této diplomové práci se zabývám tvorbou digitálního dvojčete neboli virtuálního modelu robotické buňky v prostředí Tecnomatix. K tomuto účelu si musím nastudovat teoretické informace o problematice digitálních dvojčat a o možnostech jejich tvorby. Prozkoumat softwarový balík Tecnomatix. Především jeden z jeho nástrojů s názvem Process Simulate. Zajímat mě budou hlavně nabízené funkce pro práci v tomto simulačním prostředí. Získané informace využiji při tvorbě simulačního modelu jejíž postup rozepíšu v jednotlivých kapitolách. Součástí této teoretické části je i popis zadaného robotizovaného pracoviště a jeho funkcí.

Nejprve popíšu přípravu samotného modelu pracoviště, způsob importu CAD modelu do softwaru, nastavení pracovního prostředí a ovládání tohoto softwaru. Následně popíšu základní úlohy, jako vytváření jednoduchých objektů, manipulace s nimi, kinematiku jednotlivých částí a tvorbu základních operací. Na základě těchto znalostí vytvořím simulační model robotizovaného pracoviště se základními zadanými úkony.

Model se pokusím zdokonalit, doplnit jej o další funkce a tím využít maximum získaných znalostí o ovládání tohoto softwaru. Plánuji přidání dopravníku a popis jeho ovládání, použití senzorů, generování objektů napodobující tok materiálu a vytvoření logických bloků pro řízení celého procesu simulace za pomoci operací a signálů.

Na závěr vygeneruji robotický program, který bude připraven pro použití na reálném pracovišti.

Výstupem této práce bude mimo jiné i souhrn doporučení pro tvorbu simulací robotizovaných pracovišť v SW nástrojích simulačního systému Tecnomatix.

2 Rešerše

Tato kapitola seznamuje s pojmem digitální dvojče, s různými druhy nástrojů pro tvorbu digitálních dvojčat a se softwarovým balíkem Tecnomatix od společnosti Siemens a jeho nástroji. Představuje samotný simulační systém Process Simulate, a nakonec také se zadané pracoviště, které budu v této práci zpracovávat.

2.1 Digitální dvojče

Digitální dvojče je dnes často používaný pojem. Po prostudování různých dohledaných článků, internetových stránek a příspěvků k této problematice [7-12], jsem vybrala několik definic, vysvětlující význam tohoto spojení.

Ve všech zdrojích se v podstatě shodují na tom, že se jedná o prvek, který souvisí s plnou digitalizací celého životního cyklu. To znamená od vývoje výrobku a technologie přes plánování výroby, realizaci, provoz, servis, až po likvidaci. Data, která během této doby vznikají, vytvářejí plný obraz o daném výrobku. Lze tedy zkrátit výrobní proces, jelikož pro odladění prototypu není potřeba čekat na jeho výrobu. Zkrátí se také doba instalace a celkově se optimalizuje výroba. Provoz je poté hladší a také rychlejší. [13]

Jednoduše řečeno, digitální dvojče je virtuální kopie každého fyzického objektu, zařízení, stroje, výrobního nebo průmyslového procesu, který lze sledovat na počítači.

Digitální dvojče lze použít pro různé účely. Především umožňuje hlubší pochopení některých procesů bez zásahu do samotného produktu. Tohle 3D zobrazení pomáhá při představě zařízení a jeho práce. Rozhodování, zda zařízení pořídit, je pak o dost jednodušší.

Pomocí digitálních dvojčat jsme schopni rychle identifikovat možné problémy. Jejich použitím lze urychlit produkci výrobků, snížit náklady na celý výrobní proces a tím optimalizovat celé podnikání. Jakékoliv změny, které budou provedeny v reálném zařízení se nám promítnou právě v tomto našem digitálním dvojčeti (modelu). Lze tedy předem rozpoznat poruchy při provozu zařízení nebo včas odhalit začátek jeho opotřebení. [14]

Tyto digitální modely mají největší využití v automobilovém průmyslu. Používají se zde při návrhu a konstrukci vozidel a technologických linek.

Pro zamezení zbytečných nákladů kvůli opravám a přestavbám před samotnou realizací projektu, je efektivní, si realitu nejdříve nasimulovat v digitální kopii. Tím lze včas zjistit, zda projekt bude úspěšný a zda přistoupit k jeho realizaci. [14]



Obrázek 1- Digitální dvojče člověk [15]

SHRNUTÍ-dva pohledy na digitální dvojče:

- při návrhu pracoviště
 - například Siemens zdůrazňuje význam digitálních dvojčat ve fázi vývoje (dříve, než jde do výroby prototyp)
 - nejde vlastně o digitální dvojčata, ale o přesné digitální předlohy vhodné pro komplexní virtuální modelování. [7]
- monitoring, předvídání možných výpadků, údržba, získávání real-time dat, provozních parametrů, Průmysl 4.0, IoT
 - Digitální dvojče je virtuální model skutečného produktu, procesu nebo služby, který můžeme monitorovat, analyzovat a zlepšovat jeho výkon. [8]

2.2 Digitální továrna Tecnomatix a její nástroje

Digitální továrna Tecnomatix propojuje všechny výrobní disciplíny s výrobním inženýrstvím. A to od návrhu a plánování, přes simulaci a ověřování, až po samotnou výrobu a její řízení. Digitální továrna je virtuálním obrazem reálné výroby, který zobrazuje reálné výrobní procesy ve virtuálním prostředí. Tecnomatix je založen na otevřené správě životního cyklu výrobku (PLM-Teamcenter manufacturing platform). Je vhodný pro malé firmy, které potřebují vyřešit jen některou z oblastí, ale i pro velké společnosti, které potřebují využít celého portfolia digitální továrny. [16]

Process Designer-tento nástroj slouží k plánování, používají ho tedy plánovači celého procesu, technologové a návrháři výrobních linek a celých hal. Navrhnu koncept projektu tzv. layout. Součástí tohoto layoutu nejsou konkrétní operace. Navrhují se zde například jen jednotlivé procesy a definují se jim přidělené časy. [17]

Další nástroj je Process Simulate. Tohle simulační prostředí má širokou škálu využití. Dá se využít například při vytváření offline robotických programů, vyšetření ergonomie, analýzy proveditelnosti manuálních operací či testování PLC řízení (virtuální zprovoznění). Je vhodné jej použít při plánování a simulaci detailů výrobních procesů, jednotlivých operací, zjištění dosahu a kolizí, synchronizaci robotů atd. [17]

Další důležité nástroje:

Plant Simulation-nástroj pro analýzu na úrovni továrny (zkoumání propustnosti systému, toku materiálu atp.)

AdminConsole-nástroj, jehož prostřednictvím lze vykonávat administrátorské zásahy (mazání projektu, přidělování práv uživatelům atp.)

Tecnomatix Doctor-aplikace, která umožňuje spravovat jednotlivé součásti (CAD prohlížečky, kontroléry pro roboty atp.) a nainstalované HotFixy. [17]

Tecnomatix [16]

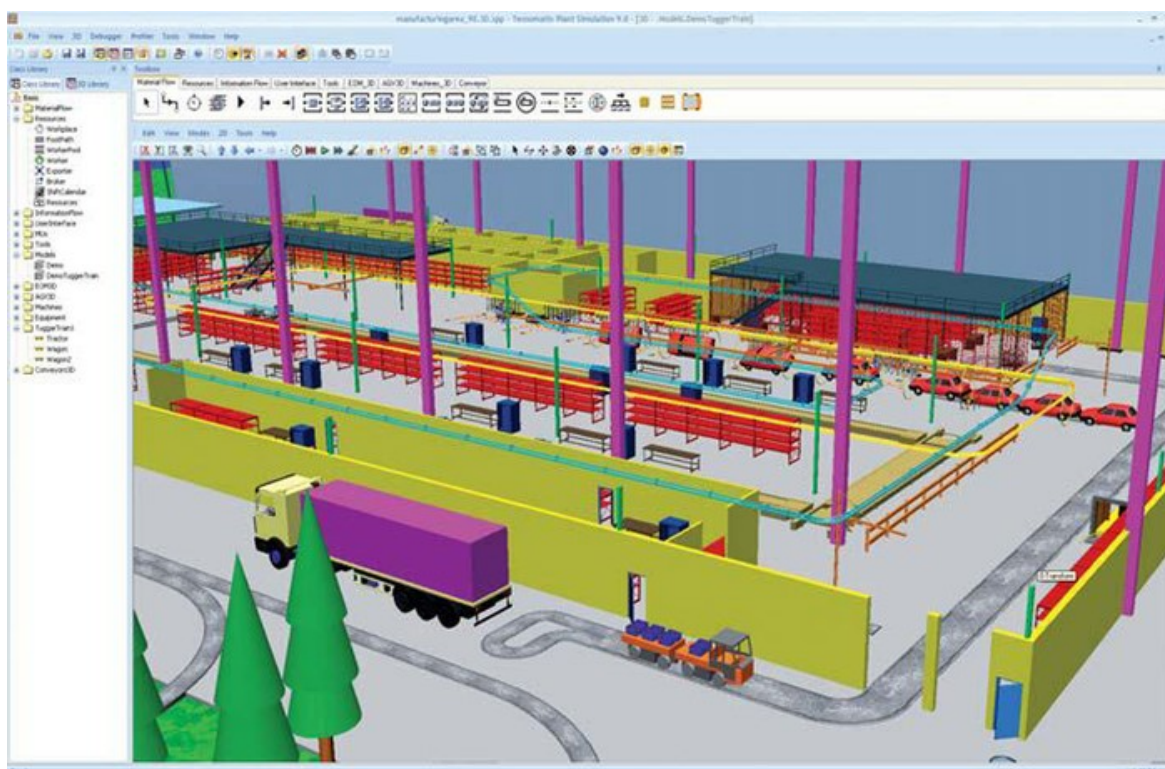
- Plant Simulation
- Process Designer
- RobotExpert
- Process Simulate Robotics
- Robcad
- Process Simulate Human
- Jack



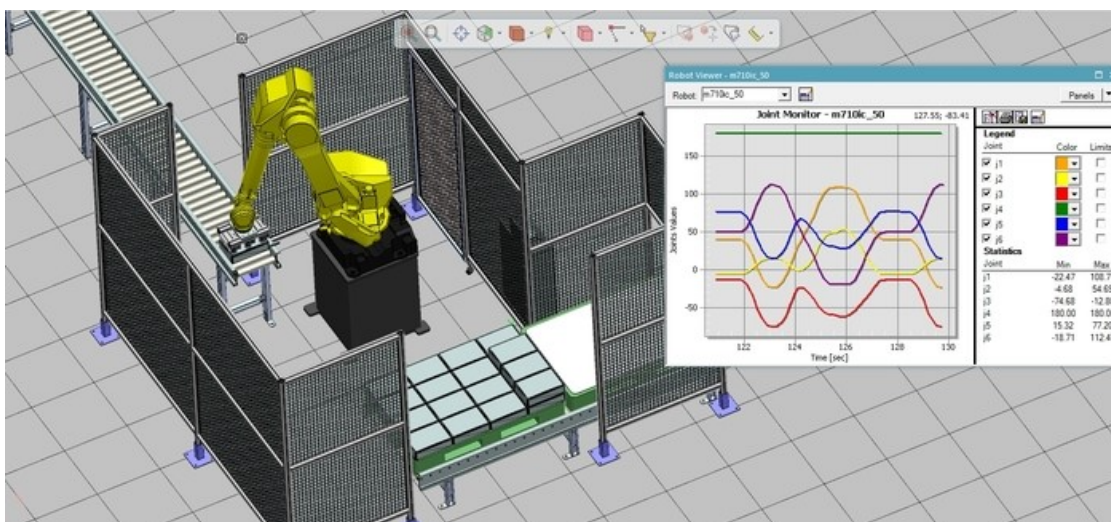
Obrázek 2 - Digitální továrna Tecnomatix [18]

2.2.1 Plant Simulation je nástroj pro:

- vytváření digitálního modelu logického systému (výroby, logistiky apod.) velice blízkého reálnému chování
- simulaci různých variant řešení podle scénářů: co se stane, když....
- vyhodnocení pomocí analytických, statistických a grafických nástrojů
- vizualizaci a animaci návrhu a variantních řešení
- optimalizaci výkonu systému, eliminaci úzkých míst při zachování nízkých nákladů
- usnadnění a opodstatnění strategických rozhodnutí již ve fázi úvah o nové výrobě denní operativní plánování výroby s cílem maximálního využití zdrojů při změnách vstupů [19]



Obrázek 3 - Plant Simulation [19]



Obrázek 5 – Robot Expert [22]

2.2.4 Robcad

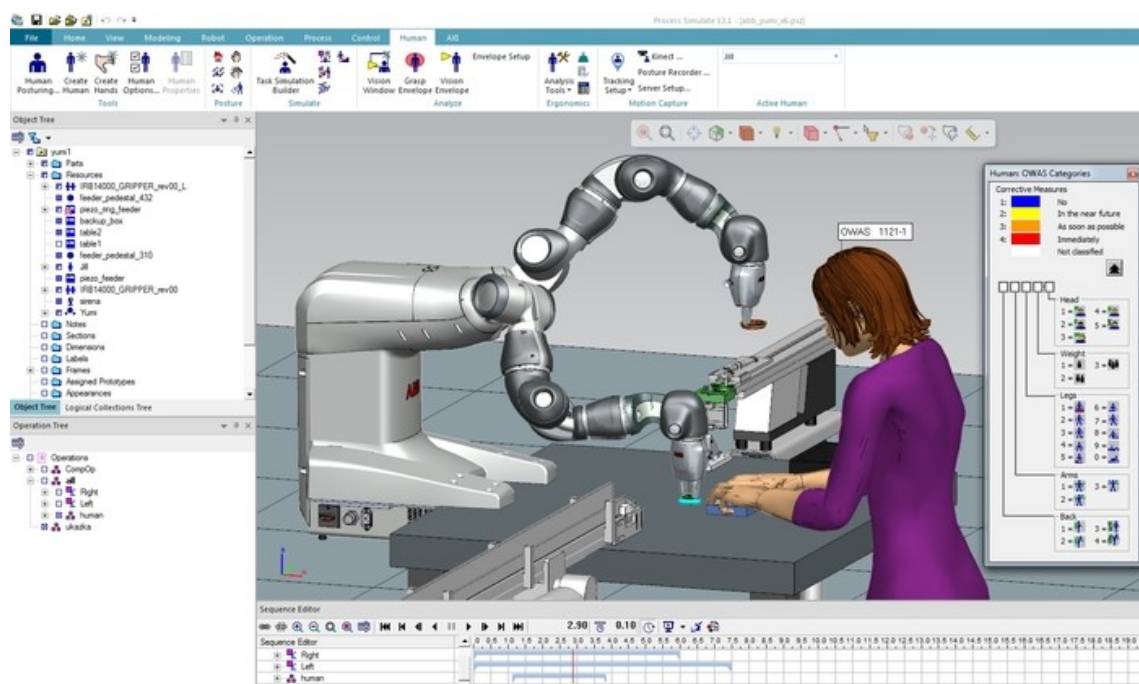
Robcad je nástroj pro simulaci pracovních buněk, který umožňuje vyvíjet, simulovat, optimalizovat, ověřovat a offline programovat procesy robotizované a automatizované výroby zahrnující více zařízení. A to vše v kontextu konfigurovaného produktu a údajů o zdrojích. Tyto plně funkční modely kompletních výrobních buněk a systémů v 3D prostředí nabízejí platformu pro optimalizaci procesů, a výpočet délky trvání cyklů v různých fázích časového plánu vývoje, od koncepce po implementaci. [23]



Obrázek 6 – Robcad [23]

2.2.5 Process Simulate Human

Process Simulate Human umožňuje digitální modelování člověkem prováděných úkonů a jejich realistickou simulaci za účelem ověření ergonomických standardů, bezpečnosti práce a výkonnosti. Tato aplikace obsahuje několik analytických nástrojů pro zatížení člověka, reportovací funkce a podporu integrace s hardwarem pro snímání pohybu (motion capture). [24]

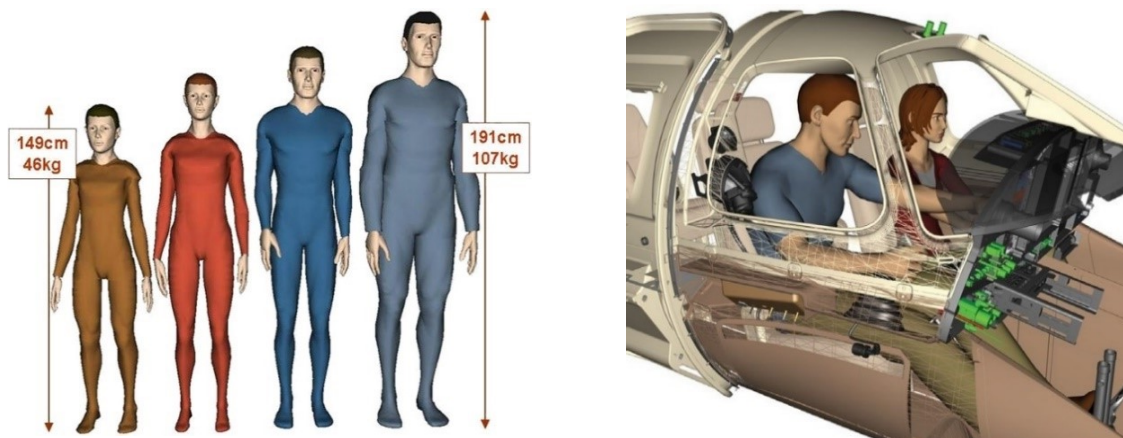


Obrázek 7 - Process Simulate Human [24]

Jednou z typických aplikací je analýza pracovního prostředí, kdy je ověřováno, zda lidský pracovník vidí vše, co vidět potřebuje a má, že dosáhne na všechna nutná místa a unese vše, co potřebuje zvedat. [24]

2.2.6 Jack

Jack je komplexní 3 D simulační nástroj pro hodnocení lidského chování při práci. Umožňuje simulovat, kontrolovat a vyhodnocovat působení pracovní činnosti a pracovního místa na člověka. Je současně ergonomickým nástrojem pro simulaci a optimalizaci ovládání výrobku nebo pracovního prostředí a přizpůsobení práce člověku. [25]



Obrázek 8 - Jack [25]

2.2.7 Process Simulate

Process simulate je vlastně simulační prostředí, ve kterém je možno vytvářet realistické simulace výrobních systémů a procesů, k tomu je vybaven mnoha nástroji. Například možnost simulace pohybu robotu, generování robotických programů nebo virtuální zprovoznění linky. [17]

Každý výrobní proces je popsán propojením objektů základních typů (operace, výrobní prostředky a díly) a definicí jejich vzájemných vztahů. Další důležitou roli v simulaci hrají signály (například signál z fotoelektrického senzoru, robotické signály atp.). Kompletní popis výrobního procesu je reprezentován tzv. eBOP (Electronic Bill of Process). [17]

eBOP je tvořen objekty následujících typu [17]:

- **produkt (Product)** - objekt, který vznikne výrobním procesem popsáním v eBOP
- **operace (Operation)** - posloupnost kroků, které je nutné provést k vyrobení produktu
- **výrobní prostředek (Resource)** - jedná se o objekty, které jsou nutné k vyrobení produktu (pracovníci, nářadí, roboty atp.),
- **technologické body** (Manufacturing Features, MFG) - definují vztahy mezi různými díly-například svařovací body.

Vzájemná spolupráce více uživatelů

Vzájemná spolupráce uživatelů funguje na principu Check-in a Check-out. Uživatelé mají možnost pracovat na jednom projektu společně. [17]

Nemohou ovšem pracovat na stejné části. Spolupráce funguje způsobem, kdy uživatel si pomocí příkazu Check-out označí (zarezuje) část projektu, na které bude pracovat a měnit ji. [17]

Jakmile si některý z uživatelů tuto část zaznačí, ostatní uživatelé nemohou na této části pracovat ani ji nijak měnit. Tato část je pro ně dostupná tedy jen pro čtení. Daný uživatel po dokončení své práce na projektu tuto část opět odznačí příkazem Check-in. Tímto příkazem se zajistí uložení veškerých změn do databáze. Změny jsou poté viditelné pro všechny ostatní uživatele. [17]

3D modely

Process Simulate obsahuje 3 D modelovací nástroje, lze tedy 3D modely jednotlivých strojů, pracovních buněk nebo celých výrobních linek vytvořit přímo v něm. V případě vytvořených modelů už v některém z běžných CAD softwarů, je možné tyto modely jednoduše importovat. [26]

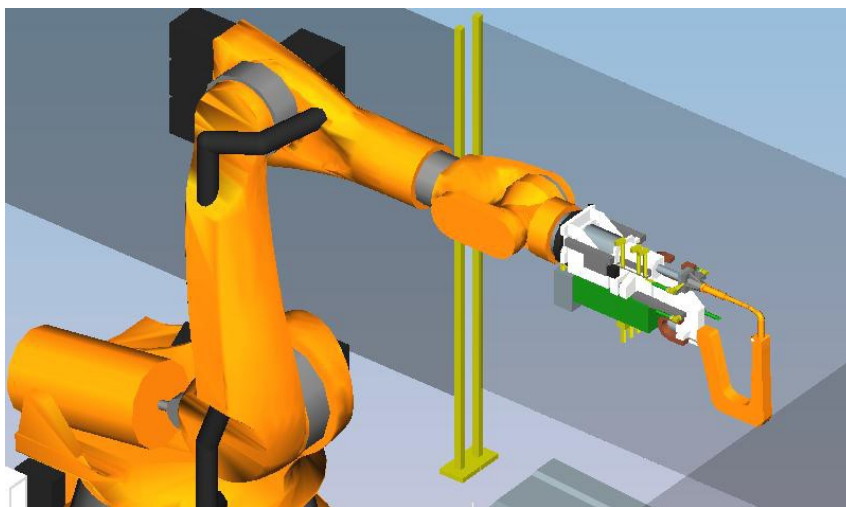
V Process Simulatu pracujeme s 3D modely typu *.jt. Modely jsou uloženy v knihovně na SystemRoot ve složce *.cojt. K prohlížení modelů je dostupná freewareová verze prohlížečky JT2GO. [17]

Simulace sestavy

Uživatelům je umožněno ověřovat například proveditelnost montáže, stanovovat nejúčinnější sekvenci montáže bez kolize, určovat nejkratší doby cyklu apod. Process Simulate Assembly také umožňuje vybírat nejvhodnější nástroj pro daný proces z knihoven. Lze kontrolovat také dosah nástroje a vznikání kolizí. [27]

Procesní simulace bodového svařování

Process Simulate Spot Weld poskytuje možnost navrhovat a zároveň i ověřovat procesy bodového svařování. K dispozici je tedy návrh v 3D systému, simulace od plánování až po finální koncepci a také offline programování. Spot Weld samozřejmě zjednodušuje celý návrh, jak už svařovacích bodů, tak i výběr správného nástroje pro svařování například svařovacích kleští. [27]

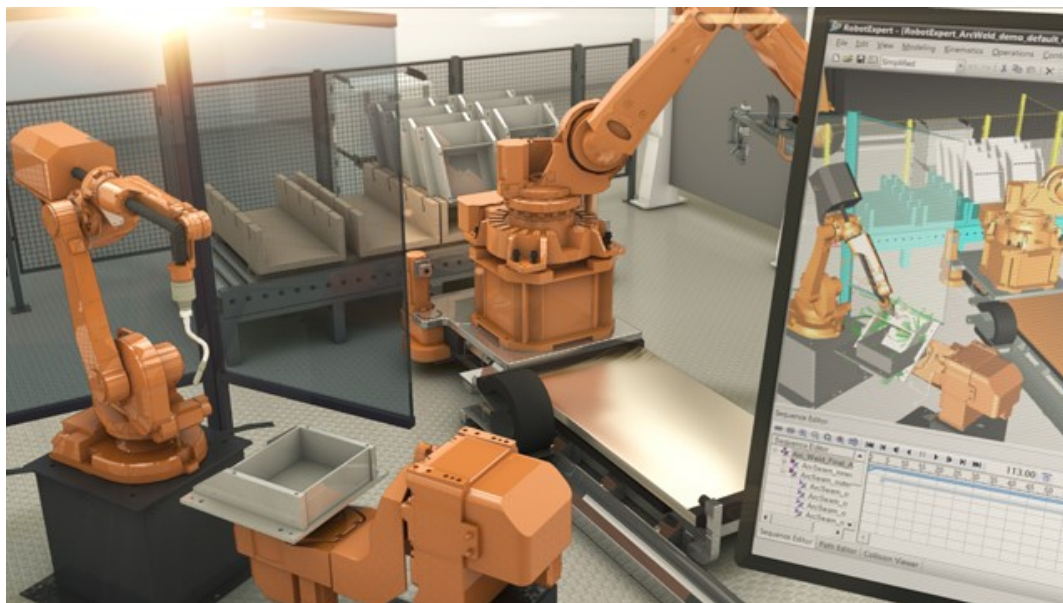


Obrázek 9 – Svařovací kleště [28]

Simulace robotiky

Process Simulate Robotics umožňuje uživatelům navrhnout a simulovat vysoce složité zóny výroby robotiky. Je možné také synchronizovat zóny více robotů a navrhnout jejich pracovní cykly bez kolizí a optimalizovat jejich cyklické časy [27].

Nabízí také využití v mnoha aplikacích od Pick&Place, balení a montáže, přes bodové, obloukové a laserové svařování, až po frézování, odjehlování, lepení, broušení, leštění, lakování a řezání laserem i vodním paprskem. Důležitou funkcí je také úprava vytvořených programů, a hlavně jejich nahrávání do robotů a naopak. [29]



Obrázek 10 - Simulace robotiky [30]

Typický pracovní postup v Process Simulate zahrnuje následující kroky [26]:

- vytvoření nové studie
- naimportování 3D geometrie/modelování 3D modelu
- definice kinematiky
- vytvoření jednotlivých operací
- nadefinování signálů/senzorů
- nadefinování posloupnosti (sekvence) operací testování a verifikace operací (kontrola dosažitelnosti, kolizí atp.).

Výhody použití Process Simulate [27]:

- Snížení nákladů na změny s včasným odhalením problémů s návrhem produktu
- Snížení počtu fyzických prototypů
- Optimalizace časů cyklu pomocí simulace
- Zajištění ergonomicky bezpečných postupů
- Snížení nákladů opětovným použitím standardních nástrojů a zařízení
- Minimalizace rizik výroby pomocí simulace několika výrobních scénářů
- Včasné ověření mechanických a elektrických integrovaných výrobních procesů (PLC a robotika)
- Předčasné ověření uvedení do provozu ve virtuálním prostředí
- Zvýšení kvality procesu emulováním realistických procesů po celou dobu životnosti procesu

Funkce Process Simulate [27]:

- 3D simulace
- Statická a dynamická detekce kolize
- 2 D a 3D sekce
- 3D měření
- Sekvence operací
- Montáž a plánování robotických cest
- Návrh linek a pracovních stanic
- Dokumentační nástroje
- Nativně podporovaný JT[™] vizualizační standard
- Simulace lidských úkolů
- Diskrétní a kontinuální simulace procesu
 - Projekce svarů na součástech
 - Zkouška dosahu robota
 - Inteligentní umístění robotů
- Robotika simulace procesu
 - Simulace řízená událostmi
 - Podrobné programování robota
- Virtuální uvedení do provozu
 - Modelové řídicí prostředky (čidla a řízená zařízení)
 - Definice signálu založená na reálném HW
 - simulace interní logiky zdrojů (booleovská a analogová)
 - Připojení virtuálních modelů se skutečným kódem PLC
 - Integrovaná simulace pomocí skutečného kódu PLC a HW přes OPC rozhraní

Díky Proces Simulate lze tedy ověřovat výrobní procesy ve 3D prostředí. Umožňuje také rychlé uvedení výrobků na trh díky praktickému ověřování už jejich výrobních konceptů – po celou dobu životnosti nových produktů. Využívání těchto 3 D dat produktů vede k rychlejší a kvalitnější výrobě. [17]

Světoví výrobci mají často problémy kvůli složitosti výrobků a výrobních procesů s časem jejich dodání na trh a jejich optimalizací. Očekává se od nich bezchybné spuštění nových produktů, dodržení nákladů, kvality a počátečních cílů výroby. K dodržení těchto požadavků využívají tedy tyto 3D systémy. [27]

2.3 Hardware / software požadavky

Tabulka 1 – HW/SW požadavky [31]

Hardware / software	Doporučené minimum
Procesor	2.2 GHz Intel Celeron Dual Core
RAM	4 GB for one instance 8 GB for 4 instances
Volný prostor na pevném disku	5 GB
Operační systém (64-bit)	Windows 7 Home Premium SP1 Windows 7 Professional SP1 Windows 7 Enterprise SP1 Windows 7 Ultimate SP1 Windows Server 2012 R2 StdE
Rozlišení obrazovky	1024x768

K seznámení se se softwarem Process Simulate a naučení se, jak v něm pracovat, mohou významně pomoci například tutoriály viz. [32] a [33] anebo video tutoriály viz. [34].

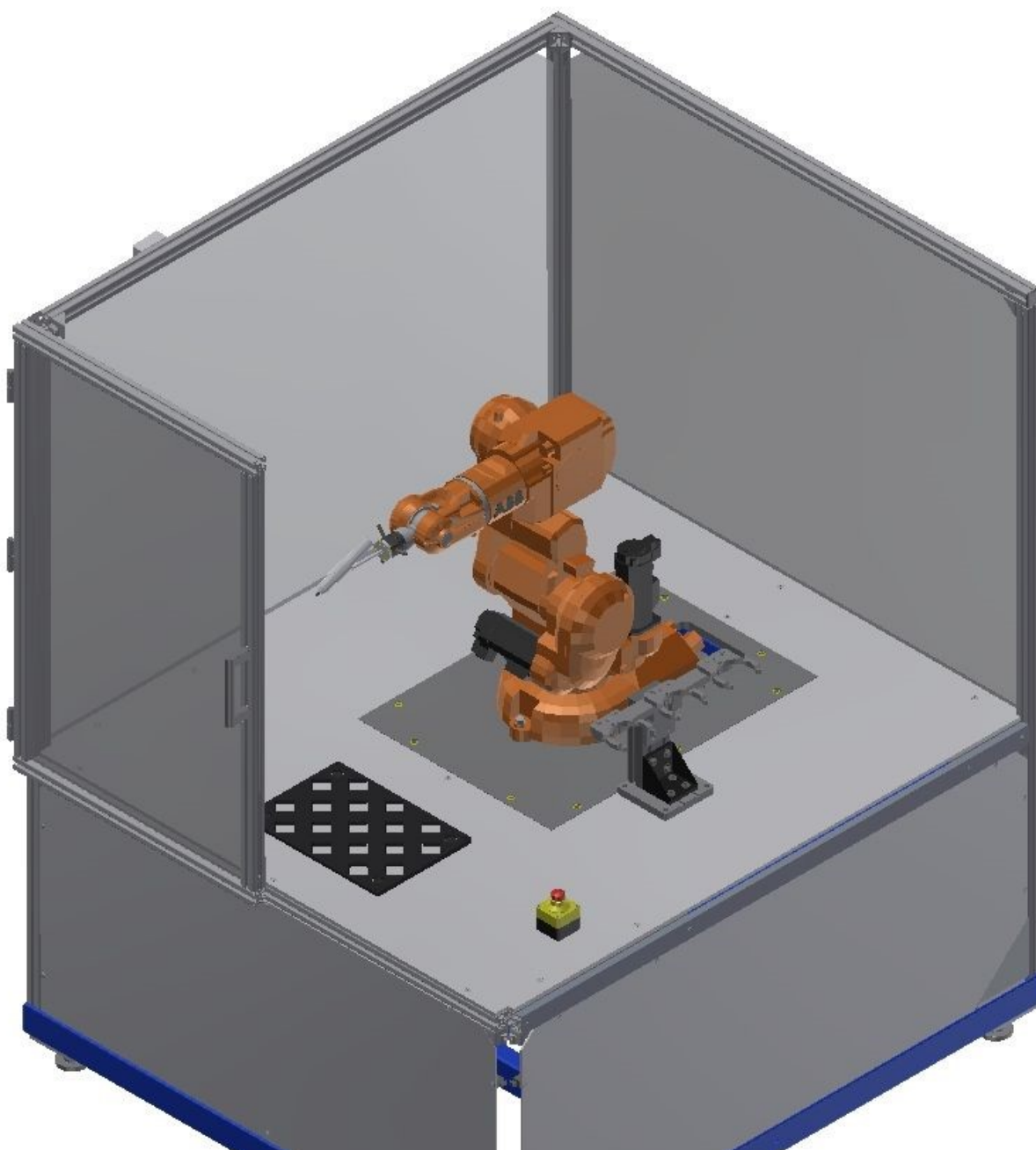
Pro účely diplomové práce byla využita verze Tecnomatix Process Simulate 14.1.1 Standalone. Verze Standalone je v podstatě offline verzí standarní verze Process Simulate. Offline znamená, že nemá přístup k žádnému eMServeru. Jelikož jsem software používala v té době pouze já, a to pouze pro simulaci daného pracoviště, nebylo nutné mít server vytvořený.

3 Zadané robotizované pracoviště

Obsahem této kapitoly je popis zadaného pracoviště, které bylo využito pro tvorbu simulačního modelu a zároveň k názorné ukázce práce s Process Simulate.

3.1 Popis

Pro účely diplomové práce byla použita výuková buňka, sestavená na centru robotiky naší katedry. Cílem stavby této buňky bylo, zlepšit kvalitu výuky pro studenty katedry robotiky. Studenti se zde seznamují s programováním robotu a funkcemi celé buňky.

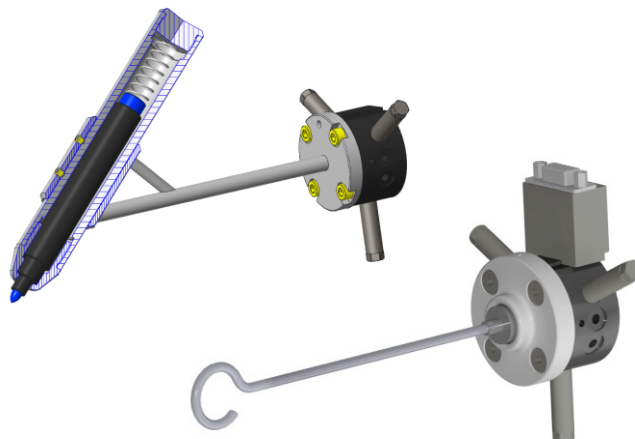
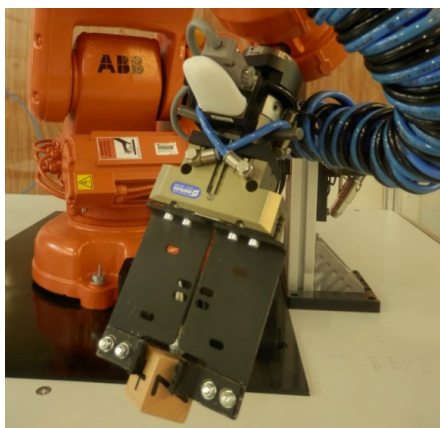


Obrázek 11 - Zadané robotizované pracoviště

Buňka obsahuje 6-ti osý robot s nosností 6 kg od firmy ABB s označením IRB140.

Robot je opatřen efektem. Návrh dané buňky zahrnuje 3 varianty efektorů [35]:

- pneumatické dvou-čelistové chapadlo
- popisovací efektor, osa fixu bude se středovou osou robotu svírat úhel 45°
- efektor pro kopírování trajektorie (pomůcka „horký drát“).



Obrázek 12 - Varianty efektorů (zleva a) b) c)) [35]

3.1.1 Popisovací efektor

Tento efektor je vyroben z nerezové oceli a jeho povrch je vyleštěn. Uvnitř efektoru je umístěn fix, který je odpružen, aby byl vytvořen prostor pro chybu a prodloužila se i životnost fixu (Obrázek 13b)). Efektor je upevňován na přírubu zařízení pro automatickou výměnu nástrojů od firmy SCHUNK. Ke kalibraci TCP (tool center point) se zde používá právě tento efektor. [35]

3.1.2 Pneumatické dvou-čelistové chapadlo

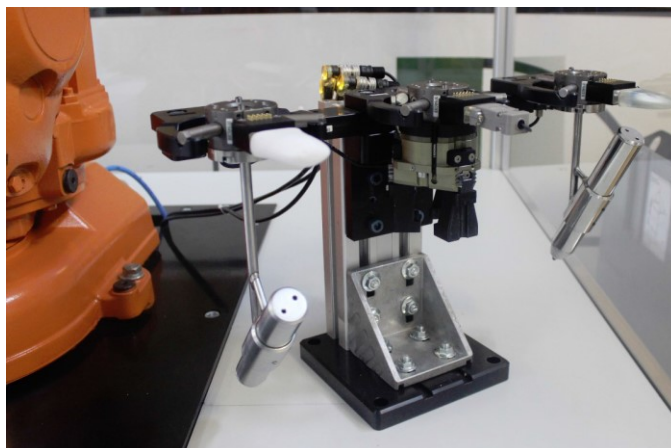
Chapadlo se využívá pro manipulační úlohy. Efektor je opět od firmy SCHUNK s označením PGN +80/1. Upevnění na robot zajišťuje příruba zařízení pro automatickou výměnu nástrojů. Čelisti chapadla jsou vyrobeny z plechu (Obrázek 13 a)). [35]

3.1.3 Efektor pro kopírování trajektorie

K procvičování schopnosti ovládat robot ručně, byl vytvořen právě tento efektor (Obrázek 13 c)). Tvořen je přírubou SCHUNK SWS005 s konektorovým polem. Na ní je přišroubováno těleso z polykarbonátu s osazením, jehož dno je vyplněno ocelovou destičkou, jež je spojena s konektorovým polem a slouží jako uzemnění. [35]

3.1.4 Výměna nástrojů

Pro výměnu těchto nástrojů je zde systém automatické výměny efektorů SWK-005-000-000 od firmy SCHUNK. Efektory jsou uloženy v držáku, který je součástí dodávaného zařízení této firmy. Stojan obsahuje tři pozice pro odkládání efektorů. Všechny jsou vybaveny indukčním snímačem přítomnosti efektoru. [35]



Obrázek 13 – Držák efektorů [35]

3.1.5 Zabezpečení buňky

Celé pracoviště je uzavřeno pomocí ochranného polykarbonátového krytování a tvoří samostatnou univerzální robotizovanou buňku. Buňka je opatřena dvěma bezpečnostními okruhy. Prvním je okruh Emergency STOP se dvěma STOP tlačítky pro zastavení robotu v kritických situacích. Druhým AUTO STOP se snímačem dveří buňky, při jehož aktivaci se robot zastaví. [35]

3.1.6 Parametry realizovaného pracoviště

Zde jsou uvedeny základní parametry realizovaného pracoviště.

Tabulka 2 - Parametry realizovaného pracoviště [35]

Rozměry (maximální)	1676 x 1690 x 2000 mm
Hmotnost	520 kg
Příkon	0,4 kW
Požadovaný tlak vzduchu	4,5 – 7 bar
Nosnost robotu	6 kg
Dosah robotu	810 mm
Opakovatelná přesnost robotu	0,03 mm

3.2 Funkce

Robotizované pracoviště je určeno především pro účely výuky studentů. Byly vytvořeny 3 úlohy pro seznámení studentů s programováním robotu.

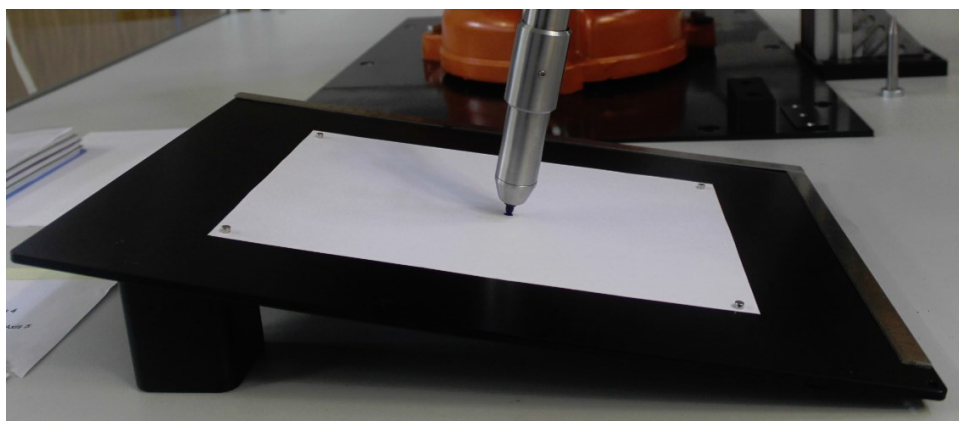
První úlohou je manipulace s předměty. Pro účely výuky se používá dřevěná kostka. Pro tuto úlohu je pracoviště opatřeno speciálním zásobníkem kostek.

Jednotlivé řady se liší počtem pozic, lze zde tedy řešit například sudost a lichost odběrných míst apod. [35]



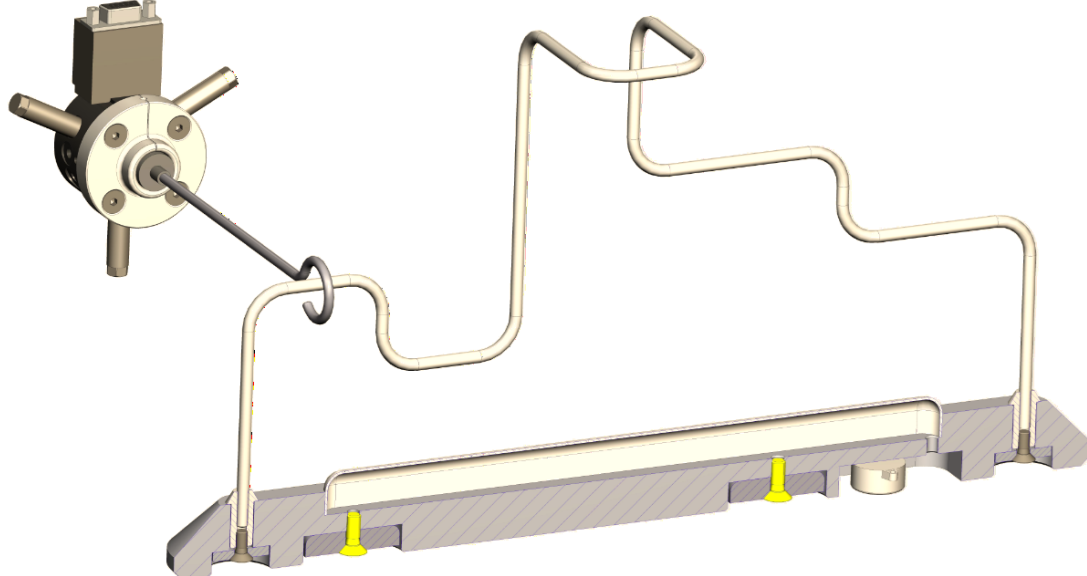
Obrázek 14 – Zásobník kostek [35]

Další úlohou je psaní či kreslení na papír. Pro tuto úlohu je potřeba využít popisovací efektor. Popisovaný list papíru je upevněn na přípravku opatřeném pravítky a lze jej naklánět podložení speciálními prvky do požadovaného sklonu. [35]



Obrázek 15 - Přípravek pro list papíru [35]

Třetí úlohou je tzv., horký drát“. Slouží k tréninku přesného ručního ovládání robotu. Student má za úkol projet dráhu od jednoho konce k druhému, aniž by se dotknul smyčkou drátu. Pokud se smyčka dotkne drátu, aktivuje bzučák a rozsvítí se červené LED světlo. [35]



Obrázek 16 – Horký drát [35]

4 Příprava modelu pro simulaci

Samotná simulace tohoto pracoviště vyžadovala úpravu modelu tak, aby bylo možné jej otevřít v prostředí Process Simulate a dále s ním pracovat.

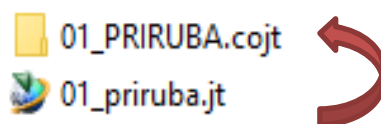
4.1 Převod na správný formát

Pracoviště bylo vytvořeno v CAD softwaru Creo Parametric. Tento software ukládá soubory ve svých specifických formátech. Pro jednotlivé komponenty je to .prt (tzv part) a pro sestavy .asm (tzv. assembly). Tento formát ovšem Process Simulate není schopen otevřít. Process Simulate pracuje pouze s CAD daty ve formátu .jt. To znamená, že bylo potřeba najít způsob, jak tento formát převést na požadované .jt.

Součástí dodané licence byly i instalační balíky Translátorů. Mezi nimi i Translátor z formátů ProEngineeru tedy Crea do .jt formátu. Ovšem po dlouhé snaze a pomoci jak spolužáků, tak kolegů z mnou navštěvované brigády, kde s tímto softwarem pracuji, se Translátor neboli převodník nepodařilo nainstalovat a dostat do funkčního stavu. Po nastudování více informací o tomto formátu, se objevila další možnost jeho získání.

Mě známé a dříve používané CAD softwary jsou schopny otevřít soubory vytvořené v ProEngineeru (Crea) a dále je přímo exportovat do formátu .jt. Těmito softwary jsou například Autocad Inventor 2019 nebo Solid Edge. Bylo využito možnosti převodu souboru v Inventoru. Co se týče softwarů přímo od společnosti Siemens, lze k tomuto účelu použít software NX.

Po exportu byl získán soubor xxxx.jt. Process simulate ovšem pro otevření potřebuje mít .jt ve složce s příponou .cojt, aby jej byl schopen otevřít. Bylo nutné vytvořit složku se stejným názvem jako xxxx. jt soubor a do názvu napsat xxxx.cojt. Po vytvoření složky do ní byl soubor xxxx.jt přetažen (Obrázek 17). Tím bylo zajištěno vše potřebné pro otevření souboru v Process Simulate.



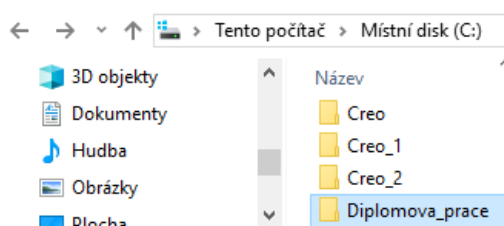
Obrázek 17 - Vytvoření složky. cojt

4.2 Import do Softwaru Process Simulate

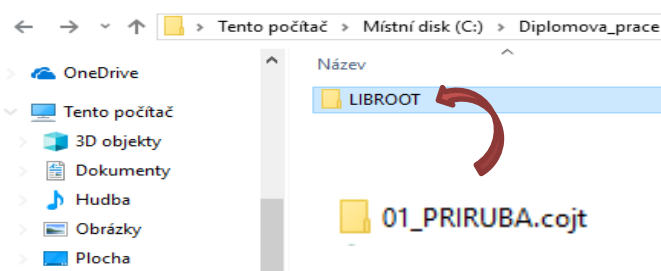
Pro snadný import komponentů do softwaru bylo nutno nejdříve připravit několik důležitých věcí, jako je pracovní složka projektu, knihovna a pracovní prostředí.

4.2.1 Vytvoření pracovní složky a knihovny

Pro práci s Process Simulate bylo nezbytné, aby byla vytvořena v pracovní složce knihovna běžně nazývána Libroot. V počítači na disku C byla vytvořena pracovní složka s názvem projektu, v mém případě Diplomová práce (Obrázek 18) a zde podsložka nazvaná právě Libroot (Obrázek 19). Sem byly později vkládány veškeré komponenty, které byly použity v tomto projektu.



Obrázek 18 - Vytvoření pracovní složky

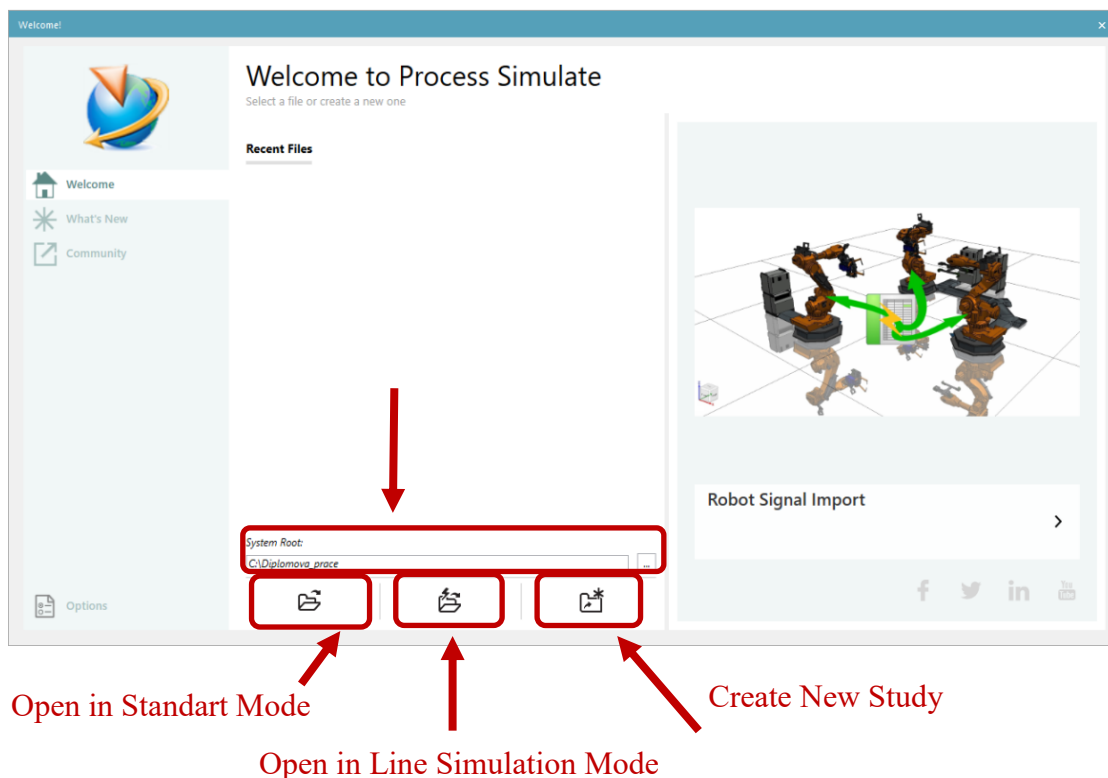


Obrázek 19 – Vytvoření knihovny

Tímto byly splněny veškeré požadavky na přípravu a bylo možné se tedy přesunout k práci přímo v Process Simulate.

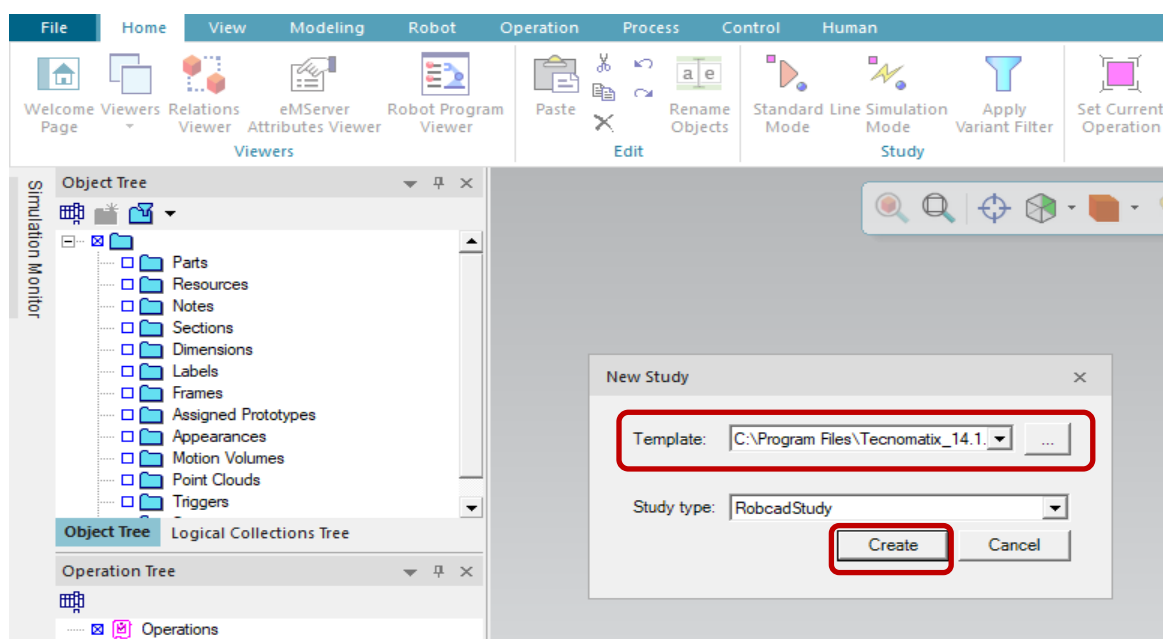
4.2.2 Příprava pracovního prostředí

Spuštěním Process Simulate se zobrazí úvodní stránka. Zde lze nalézt historii projektů, které byly v poslední době zpracovávány. Dále nastavení System Rootu, kde je potřeba mít nastavenou cestu do pracovní složky projektu (tato cesta se dá nastavit i později). Jsou zde 3 možnosti spuštění. Buď otevření standardního prostředí „Open in Standart Mode“ nebo otevření simulačního prostředí „Open in Line Simulation Mode“ anebo tvorba nového projektu čili studie „Create New Study“.



Obrázek 20 - Úvodní stránka Process Simulate

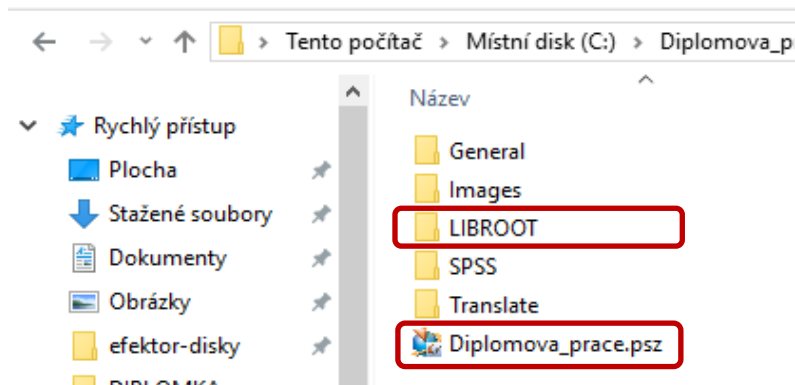
Byla zvolena tvorba nové studie a otevřelo se pracovní prostředí s oknem, kde bylo třeba nastavit cestu k základní studii „DefaultStudy.psz“. Následně se nechala vytvořit pomocí „Create“.



Obrázek 21 - Pracovní prostředí s oknem

Studie byla úspěšně vytvořena, uložena do pracovní složky a bylo možno začít vkládat komponenty do pracovního prostředí.

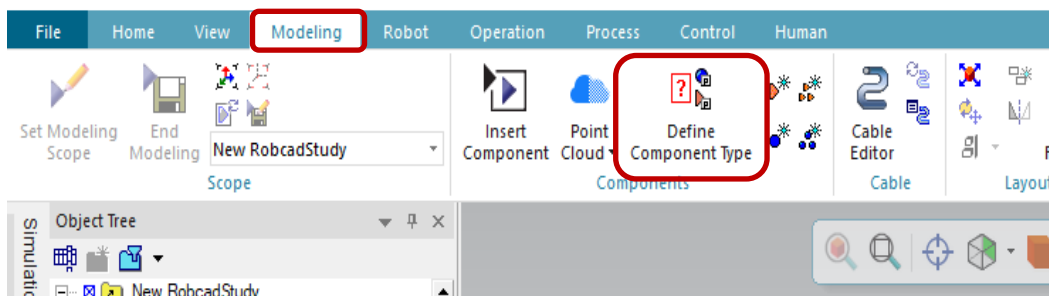
Vytvořená studie má příponu .psz, jelikož byla vytvořena v offline verzi Process Simulate Standalone. A automaticky se otevřela ve „Standart Mode“.



Obrázek 22 - Uložení studie

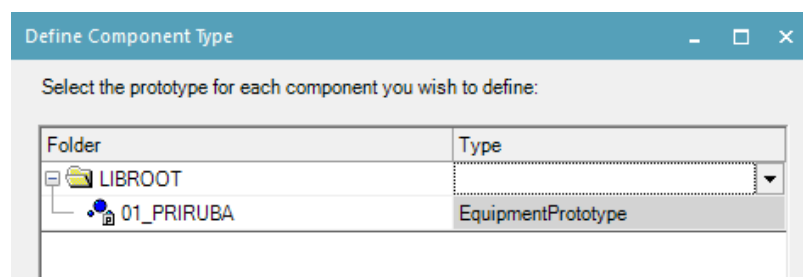
4.2.3 Vložení komponentů do pracovního prostředí

Před vložením samotného komponentu bylo nutné definovat jeho typ. Byla zvolena záložka „Modeling“ a zde „Define Component Type“.



Obrázek 23 - Define Component Type

Bylo otevřeno okno, kde se navolila cesta k danému komponentu. Komponent byl vybírán jako složka s příponou .cojt. V dalším okně se určil typ komponentu.



Obrázek 24 - Výběr typu komponentu

Na výběr bylo z mnoha typů. Základní přiřazování:

Robot – Robot

Svařovací nástroj robota – Gun

Uchopovací nástroj robota – Gripper

Pevné součásti, rámy atd. – Fixture

Dopravník – Conveyor

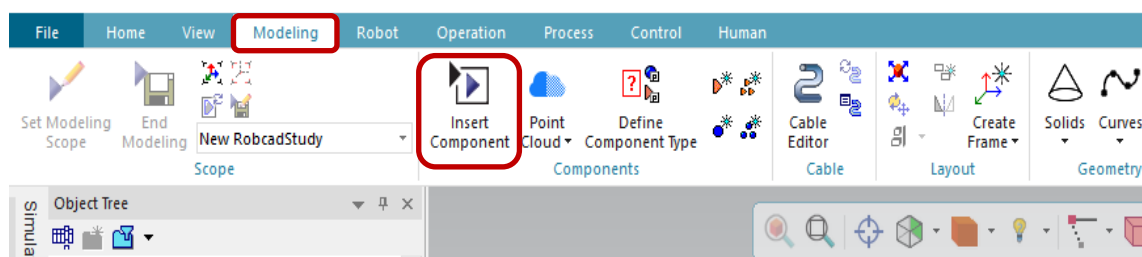
Bezpečnostní oplocení atd. - Security Window

Otočný stůl – Turn Table

Ostatní zařízení-Device, Equipment Prototype, Part Prototype, Tool Prototype

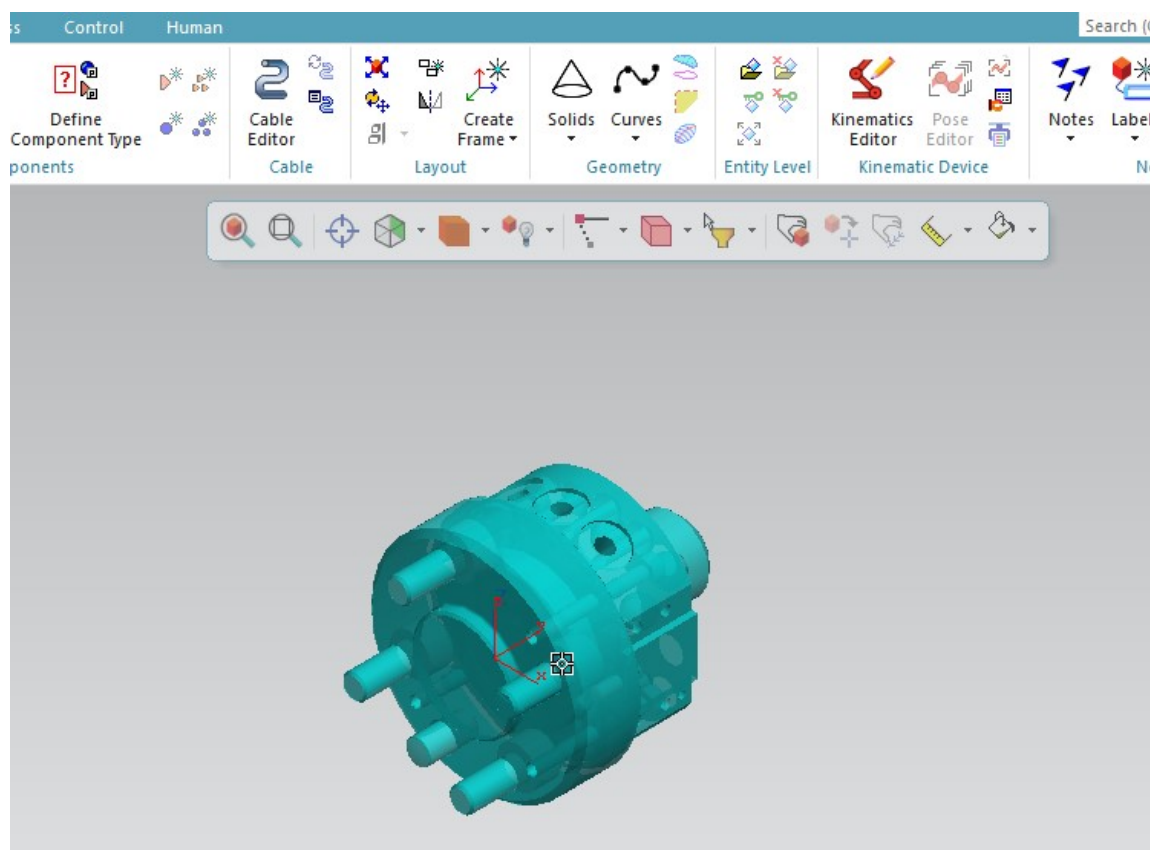
Člověk – Human

Byl vybrán typ a potvrzen „OK“. Vložení tohoto definovaného komponentu se provedlo pomocí funkce „Insert Component“ ve stejné záložce „Modeling“.

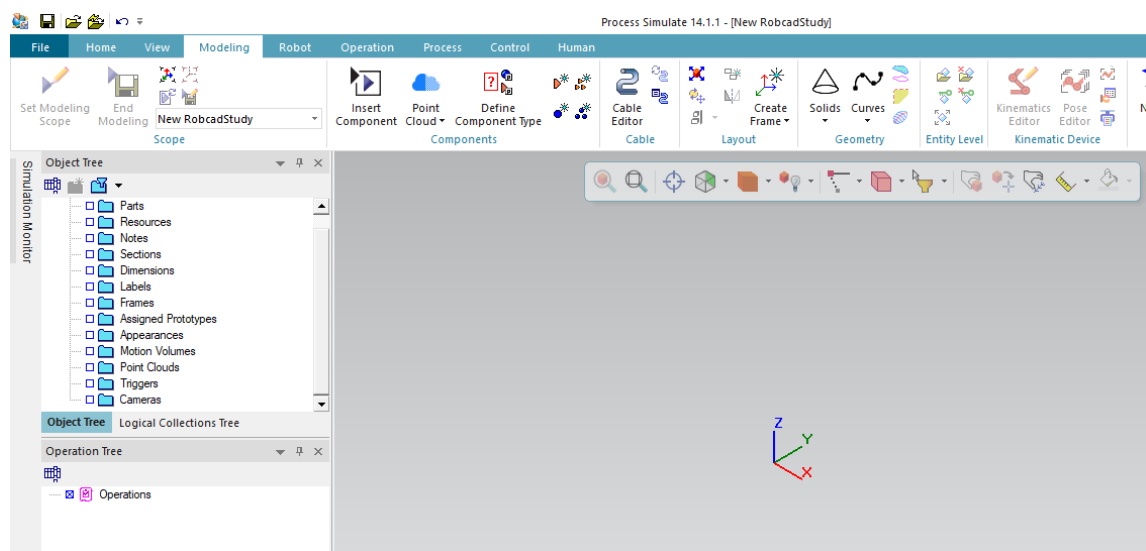


Obrázek 25 - Insert Component

Vložení se uskutečnilo vždy tak, že základní souřadnicový systém dané součásti tzv. self (Obrázek 26), byl vložen do základního souřadnicového systému pracovního prostředí tzv. working frame (Obrázek 27).



Obrázek 26 - Self součásti



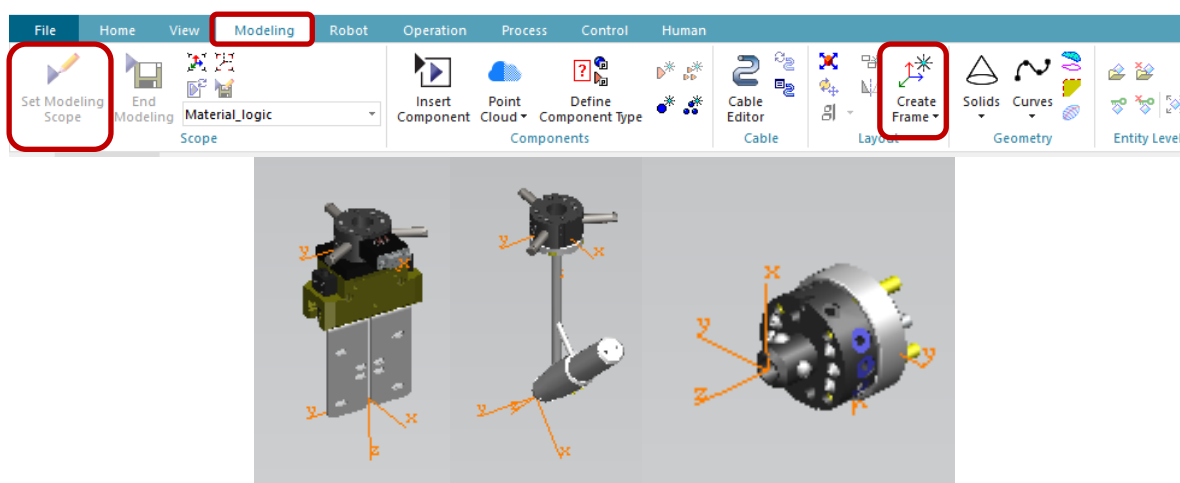
Obrázek 27 - Working frame

Stejný postup se opakoal u každé součásti, která byla vkládána do projektu.

5 Simulace

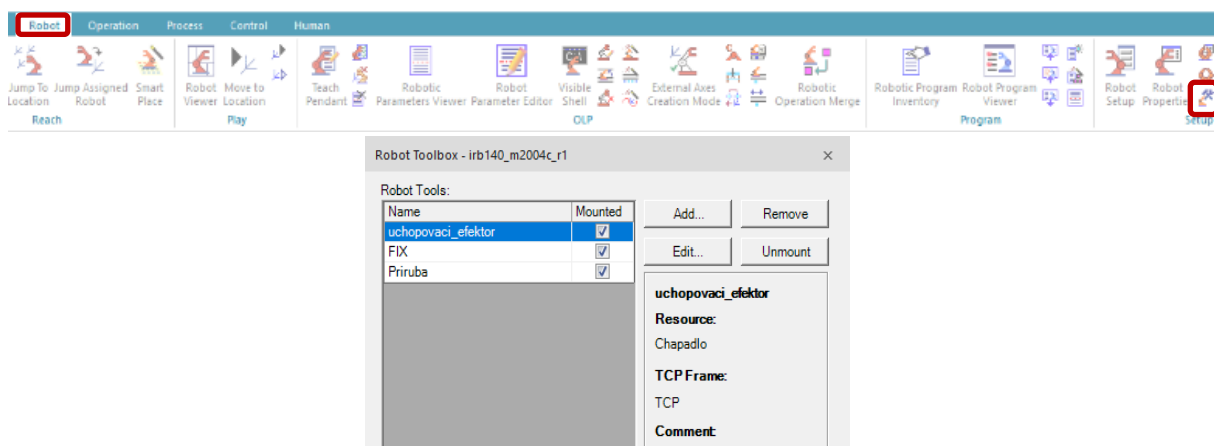
5.1 Nástroje používané na pracovišti

Jak už bylo řečeno v předchozích kapitolách, pracoviště je schopno vykonávat dvě operace. Ke každé této operaci se využívá jiný nástroj. Z důvodu umožnění výměny nástrojů, byla mezi nástroje zahrnuta i příruba robotu. U všech tří nástrojů bylo třeba nastavit souřadné systémy (kříže), kterými byl umístěn nástroj na robot a zároveň další kříž (TCP), kterým byly prakticky prováděny dané úkony. Nástroj byl otevřen v modelovacím prostředí a vytvořily se zmiňované kříže.



Obrázek 28 - Používané nástroje

Pro další použití bylo zkontrolováno správné nastavení nástrojů na robotu. Přehled nástrojů, které je robot schopen použít zobrazuje „Robot Toolbox“. Zde je možno nástroje přidávat, odebírat a upravovat.



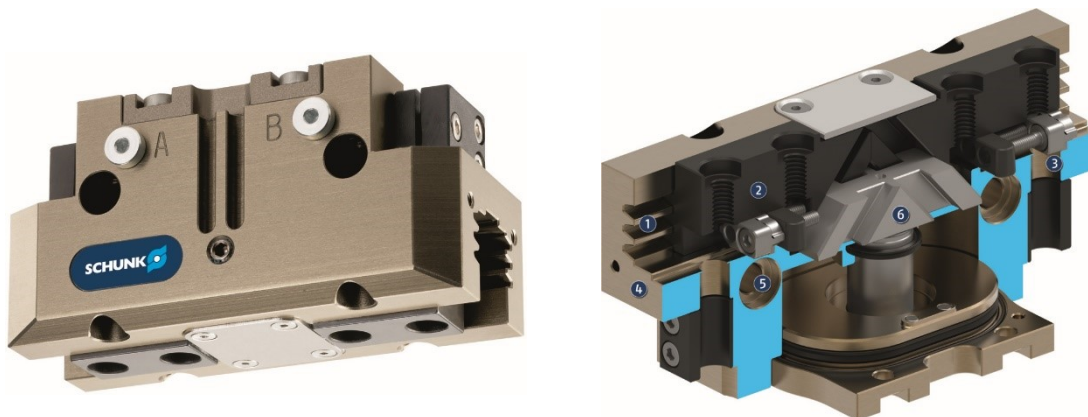
Obrázek 29 – Robot Toolbox

5.2 Kinematika jednotlivých pohyblivých součástí

Pro zajištění pohybu jednotlivých částí, bylo nezbytné vytvořit jejich kinematiku.

5.2.1 Součásti

V zadání byla obsažena pouze jedna pohyblivá součást a tou byl uchopovací efektor. Konkrétně efektor od firmy SHUNK s označením PGN-plus 80-1.



Obrázek 30 – Efektor [36]

Jedná se o univerzální dvoupřsté chapadlo s velkou uchopovací silou a vysokými maximálními momenty, toto je způsobeno používáním vícezubého vedení.

Využití nalezne v mnoha oblastech průmyslu. Lze použít v čistém nebo mírně znečištěném prostředí. [36]

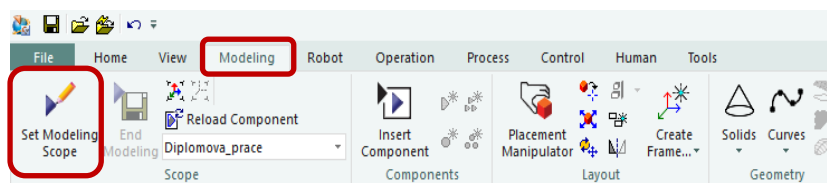
Technické údaje:

Tabulka 3 – Technické údaje efektoru [36]

Zdvihy na jednu čelist	8	[mm]
Zavírací síla	415	[N]
Otevírací síla	465	[N]
Hmotnost	0,5	[kg]
Doporučená hmotnost obrobku	2,1	[kg]
Doba otevření	0,04	[s]
Doba zavření	0,04	[s]
Opakovatelná přesnost	0,01	[mm]

5.2.2 Kinematika

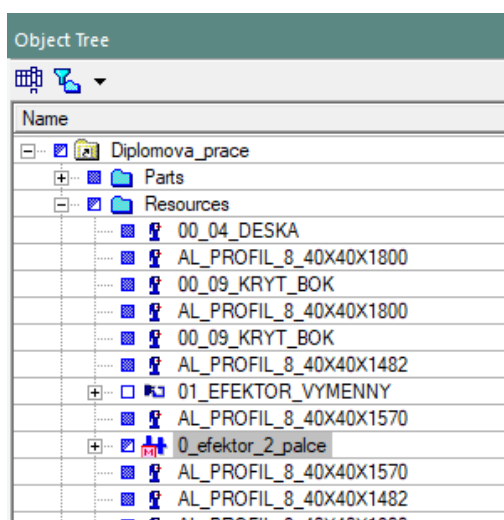
Pro úpravu součásti, tedy i tvorbu její kinematiky, bylo potřeba přepnout se u součásti do modelovacího prostoru. Tuto možnost lze najít v záložce „Modeling“ a zde „Set Modeling Scope“.



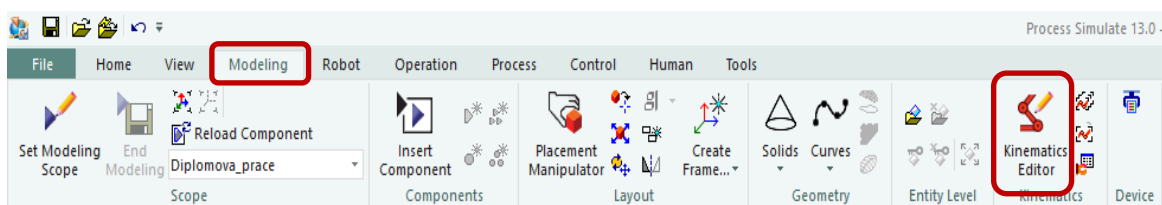
Obrázek 31 - Modeling Scope

Ve stromě „Object Tree“ byl poté u součásti zobrazen znak malého červeného písmene M.

Pohybové vazby byly nastaveny pomocí „Kinematics Editoru“.



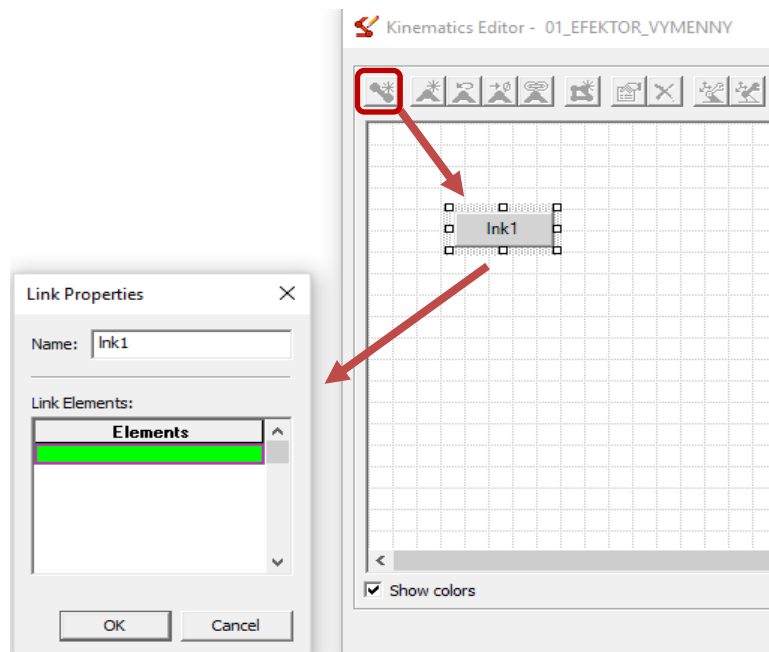
Obrázek 32 - Object tree modeling



Obrázek 33 – Kinematics Editor

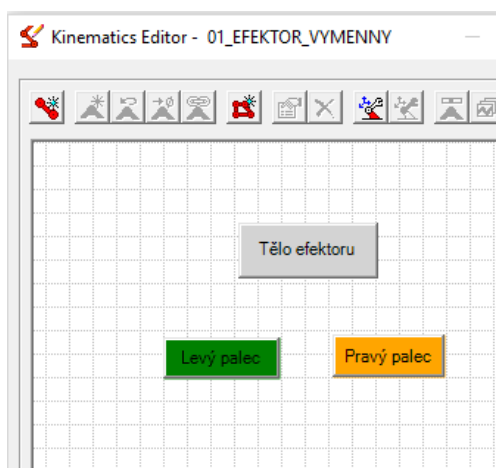
Po otevření okna editoru bylo nutno zvolit komponenty, které jsou pevné a které pohyblivé. Mezi těmito skupinami byly vytvořeny pohybové vazby.

Byla vybrána tedy první možnost „Create Link“ a v jeho vlastnostech se zaznačily všechny pevné komponenty – nebudou tedy vykonávat žádný pohyb. Tato skupina byla pojmenována jako „Tělo efektoru“.

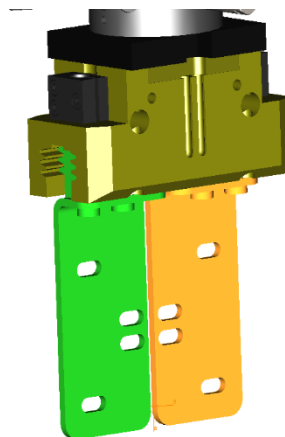


Obrázek 34 – Vytvoření linku

Akce se opakovala pro vytvoření každé skupiny. Na efektoru jsou 2 palce, které se pohybují od sebe a k sobě. Bylo nutné nastavit každý palec zvlášť jako skupinu, aby tento pohyb fungoval tak jak má. Byly vytvořeny tedy dvě další skupiny (Linky). Jedna pro levý a druhá pro pravý palec, pro každou z nich byly vybrány všechny součásti. Každá skupina si přiřadila barvu a tou se obarvily v modeláři i vybrané komponenty. Pro přehlednost došlo k přejmenování skupin.

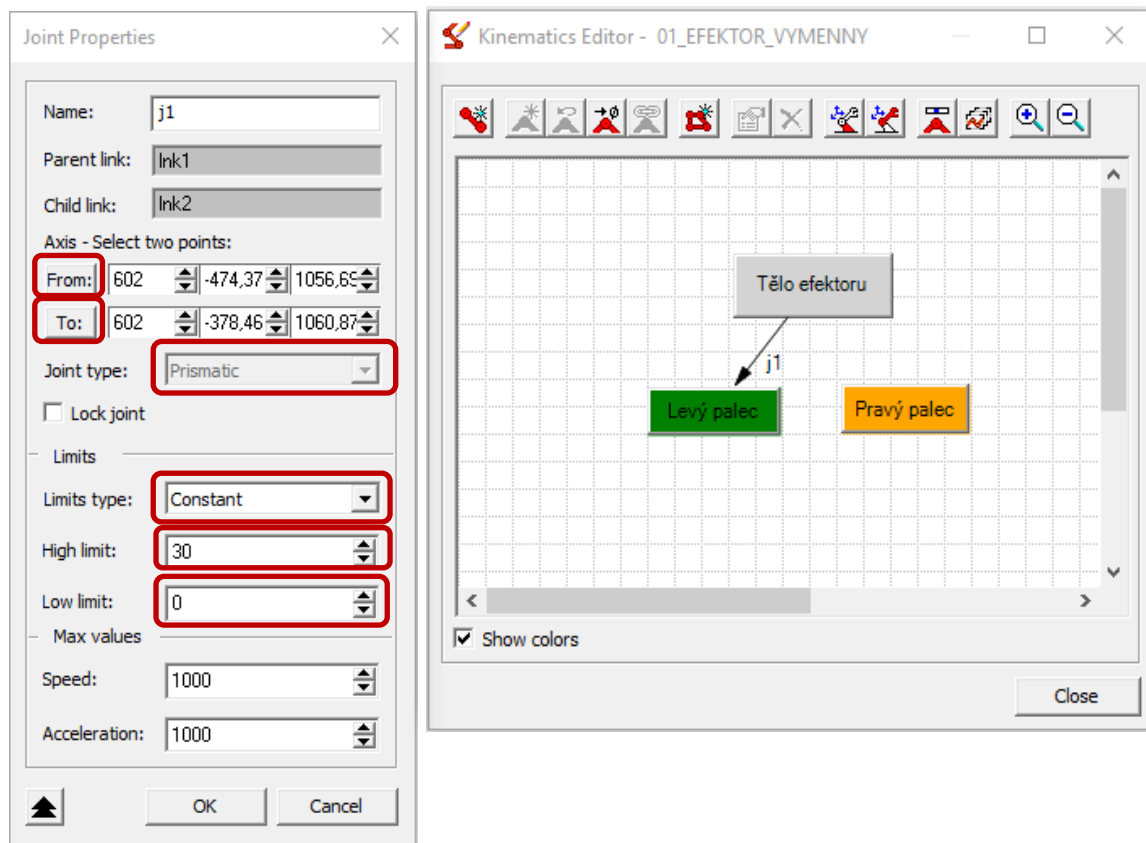


Obrázek 35 - Linky



Obrázek 36 – Barvy skupin

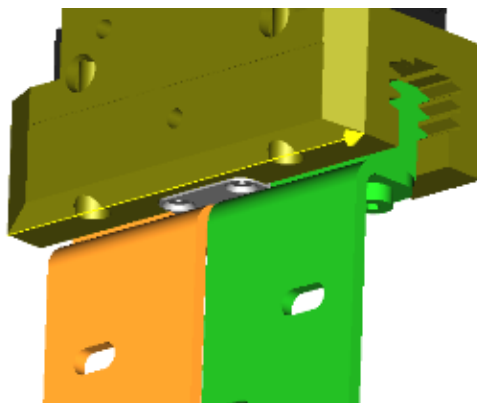
Vazby mezi těmito skupinami byly umístěny pomocí šipek, které se vytvoří kliknutím a tažením myši z jedné skupiny na druhou. Po vytvoření se objevilo okno vlastností, kde byly vazby nastaveny.



Obrázek 37 - Vazby

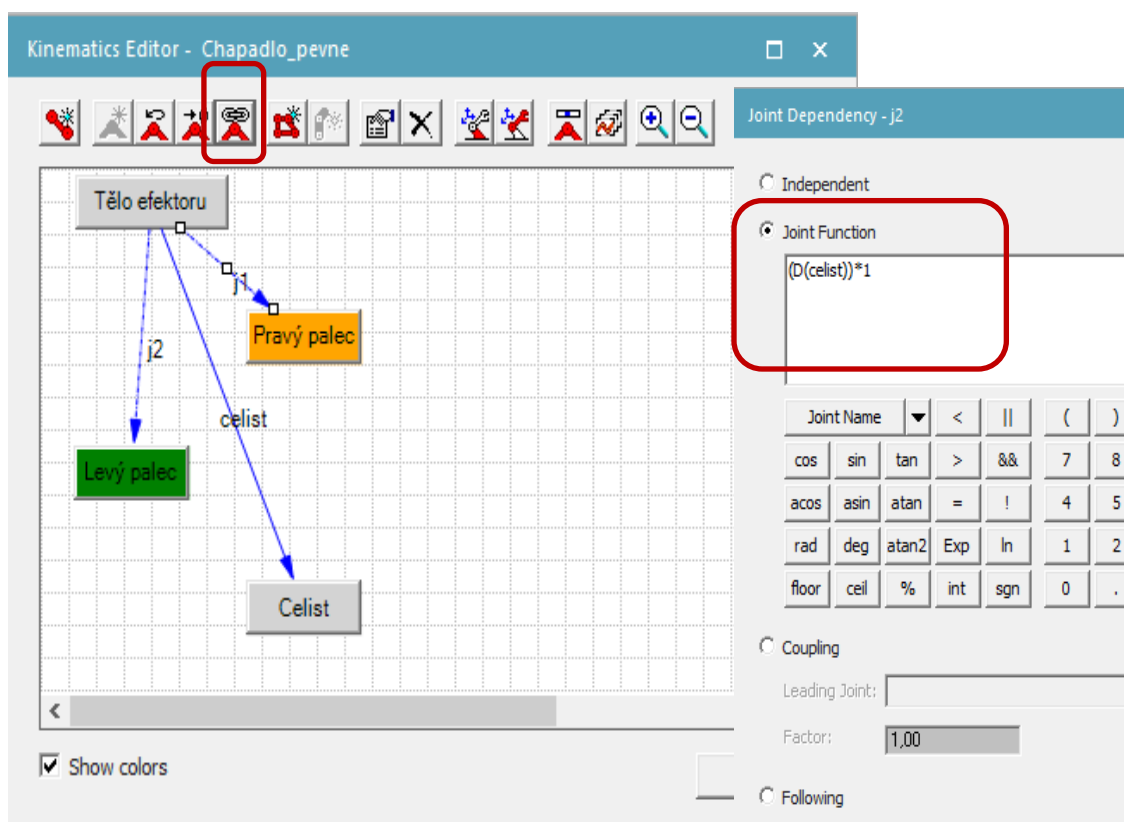
Nejdříve bylo důležité vybrat, zda chci vazbu lineární (Linear) nebo rotační (Revolute). Poté zadat směr posunu nebo osu otáčení. Směr byl vybrán pomocí dvou bodů v oknech „From“ a „To“. Tabulka vlastností lze po rozbalení ještě doplnit o limity pohybu.

V nabídce „limits type“ byla vybrána možnost „Constant“ a zadán „High“ a „Low limit“. V mém případě pohyb palce od 0 do 30 mm. Vazba byla přejmenována. Pohyb druhého palce byl vytvořen naprosto stejným způsobem.



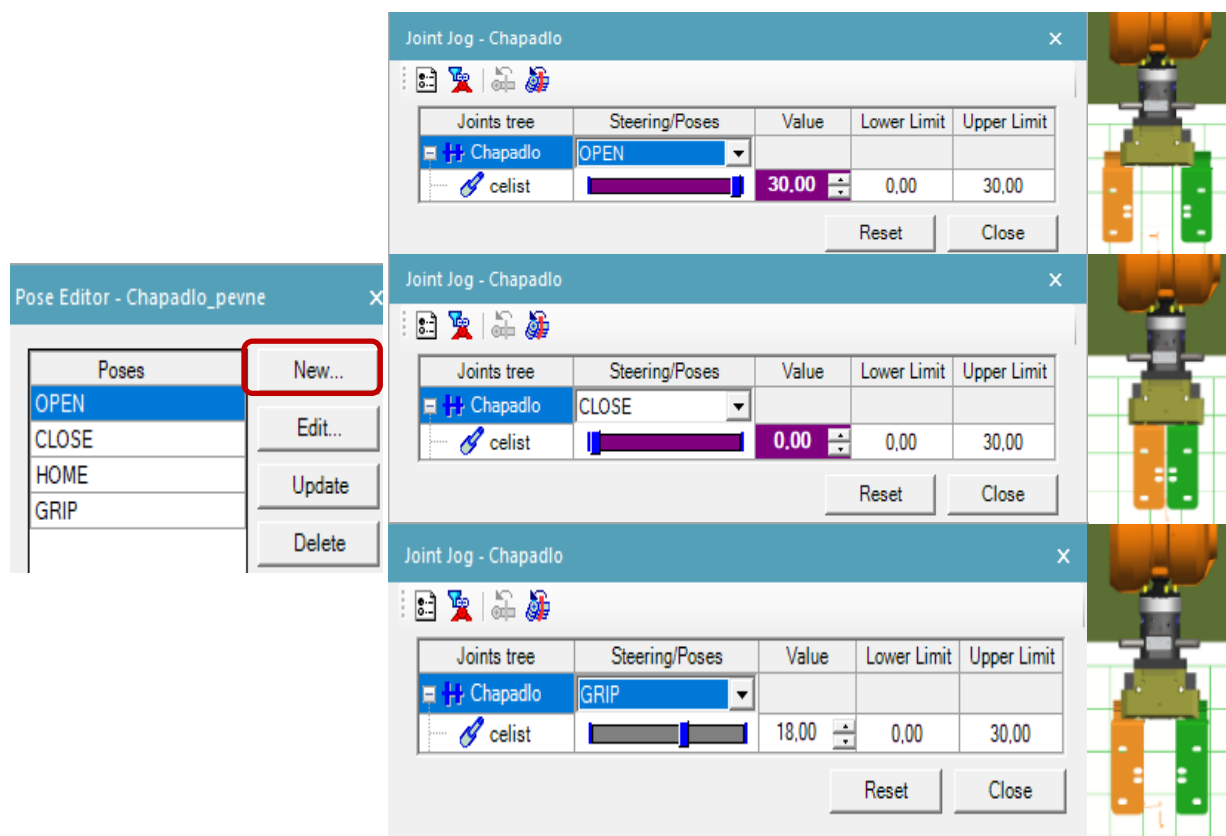
Obrázek 38 - Umístění osy pohybu

Aby se chapadlo chovalo jako reálné, bylo důležité tyto pohyby synchronizovat. Palce chapadla se musí současně rozevírat a zavírat. To bylo vytvořeno v kinematickém editoru funkcí „Joint Dependency“. Nejdříve byl vytvořen prázdný link, který se nazval „čelist“ a propojil s tělem efektoru. Závislost vazeb mezi tělem efektoru a jednotlivými palci byla vytvořena přidáním linku „čelist“. To bylo provedeno pomocí již zmiňované funkce „Joint Dependency“, kde se závislost zapsala rovnicí.



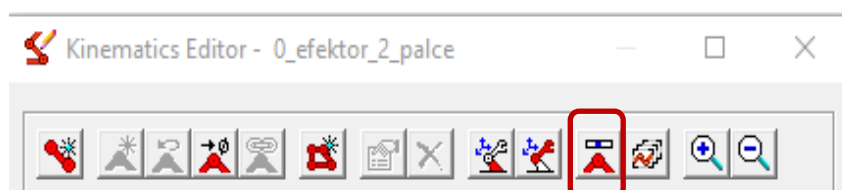
Obrázek 39 – Joint Dependency

Pro snadnější ovládání pohybu byly vytvořeny pozice „HOME“, „OPEN“, „CLOSE“ a „GRIP“, použitím funkce „Pose Editor“. Zde byla zvolena možnost „New“, jednotlivé pozice byly pojmenovány a každé nastavena hodnota rozevření čelistí efektoru.



Obrázek 40 – Pose Editor

Nastavené pozice a pohyby byly otestovány funkcí „Joint jog“, kterou lze nalézt v „Kinematics Editoru“.

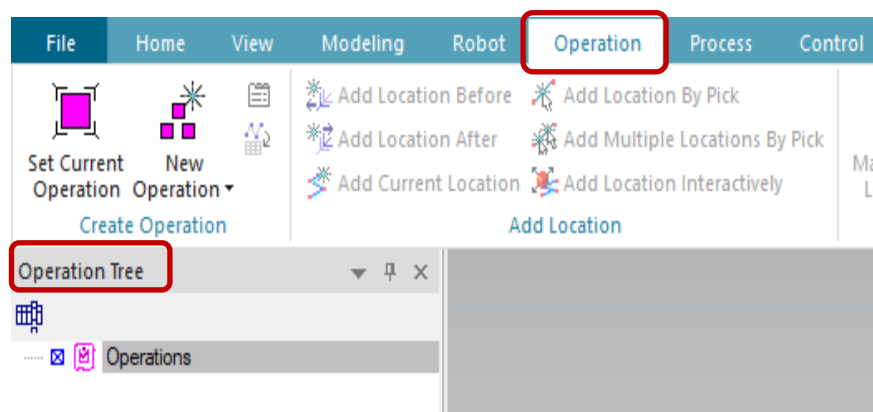


Obrázek 41 – Joint Jog

5.3 Vytvoření operací

Pro vytvoření simulací byly vybrány dvě operace ze tří dříve popsaných, tedy přesun kostek a kreslení pomocí fixu. U těchto úkonů byla provedena nejdříve jednoduchá simulace s využitím mých dosavadních znalostí práce s Process Simulate. Poté došlo ke zdokonalení simulace uplatněním dalších získaných informací ze školících a jiných materiálů.

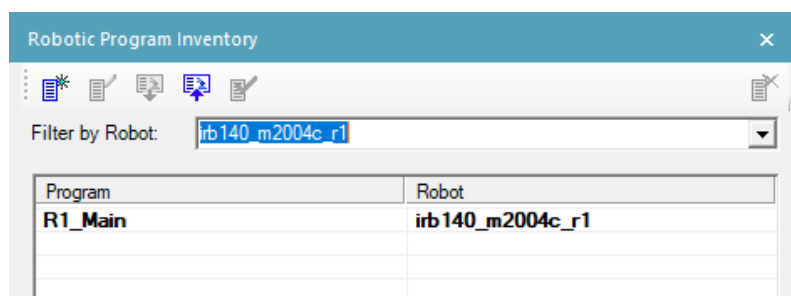
K tvoření operací byly použity funkce v záložce „Operation“ a také strom vytvořených operací „Operation tree“, který je možno zobrazit pomocí nabídky „Viewers“.



Obrázek 42 – Operation Tree

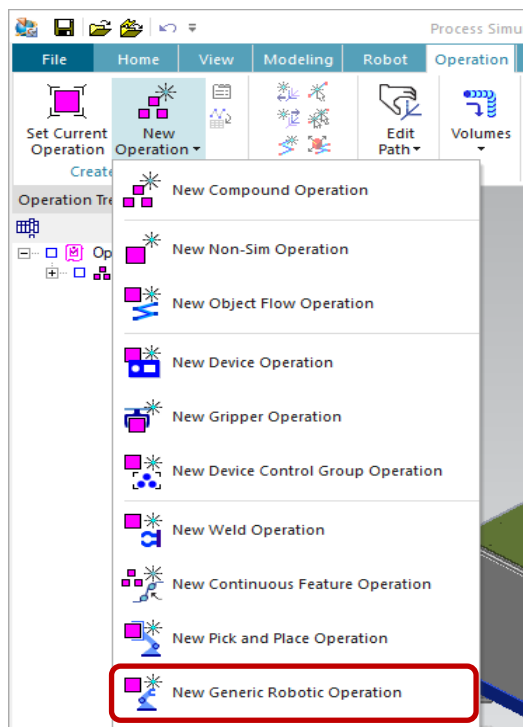
5.3.1 Robotický program

Všechny robotické operace byly umístěny pod nadřazenou operaci neboli robotický program. Ten byl vytvořen funkcí „Robotic Program Inventory“, kterou lze najít v seznamu po kliknutí pravým tlačítkem myši na příslušný robot. Zde bylo zvoleno „Create New Program“. Vytvořený program byl pojmenován jako „R1_Main“ a přiřazen robot.



Obrázek 43 – Robotic Program Inventory

Byla vytvořena nová operace „New Generic Robotic Operation“ s názvem „MAIN“. Tato operace je nadřazená všem a slouží k volání všech dalších operací.



Obrázek 44 – Vytvoření operace MAIN

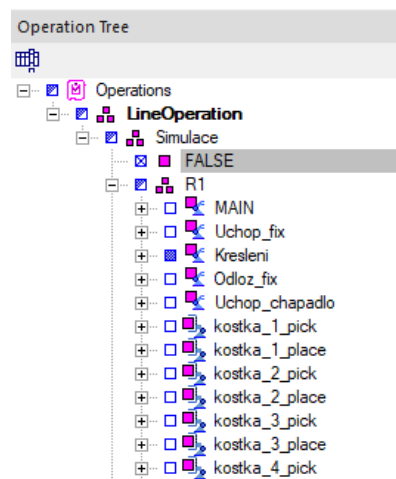
Byl otevřen „Path Editor“, ve kterém se zobrazil prázdný program „R1_Main“. Do programu byla přetažena vytvořená operace „MAIN“. Tato operace je tvořena jen dvěma pozicemi „HOME“.

Path Editor													
Paths & Locations		Path #	Motion Type	Speed Data	Tool Data	Wobj ...	Zone Data	X	Y	Z	RX	RY	RZ
R1_Main													
MAIN		100											
HOME			MoveAbsJ : H...	vMAX	tSpojka		FINE	725.18	-448.64	1447.00	-90.00	-87....	-180.00
HOME			MoveAbsJ : H...	vMAX	tSpojka		FINE	725.18	-448.64	1447.00	-90.00	-87....	-180.00

Obrázek 45 – Path Editor

5.3.2 Operace FALSE

Pro správnou funkci celé simulace byly vytvořeny ještě „Non-Sim Operation“ s názvem „FALSE“ a umístěním na samotném začátku celého „Operation Tree“. Operace sama nevykonává žádnou simulaci, slouží pouze k tomu, aby se ostatní operace v „Sequence Editoru“ samovolně nespouštěly. Robotické operace jsou spouštěny robotickým programem „R1_Main“ a „Material_flow“ operace se řídí operací „INIT“.

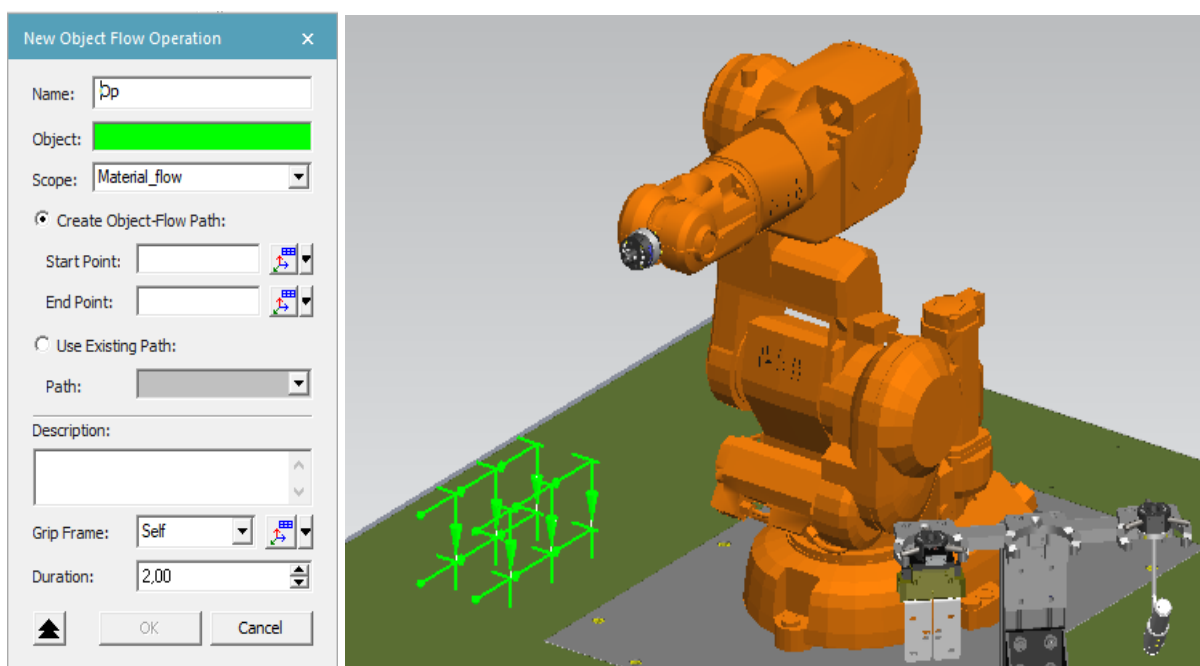


Obrázek 46 – Operace False

5.3.3 Umístění kostek pracovníkem

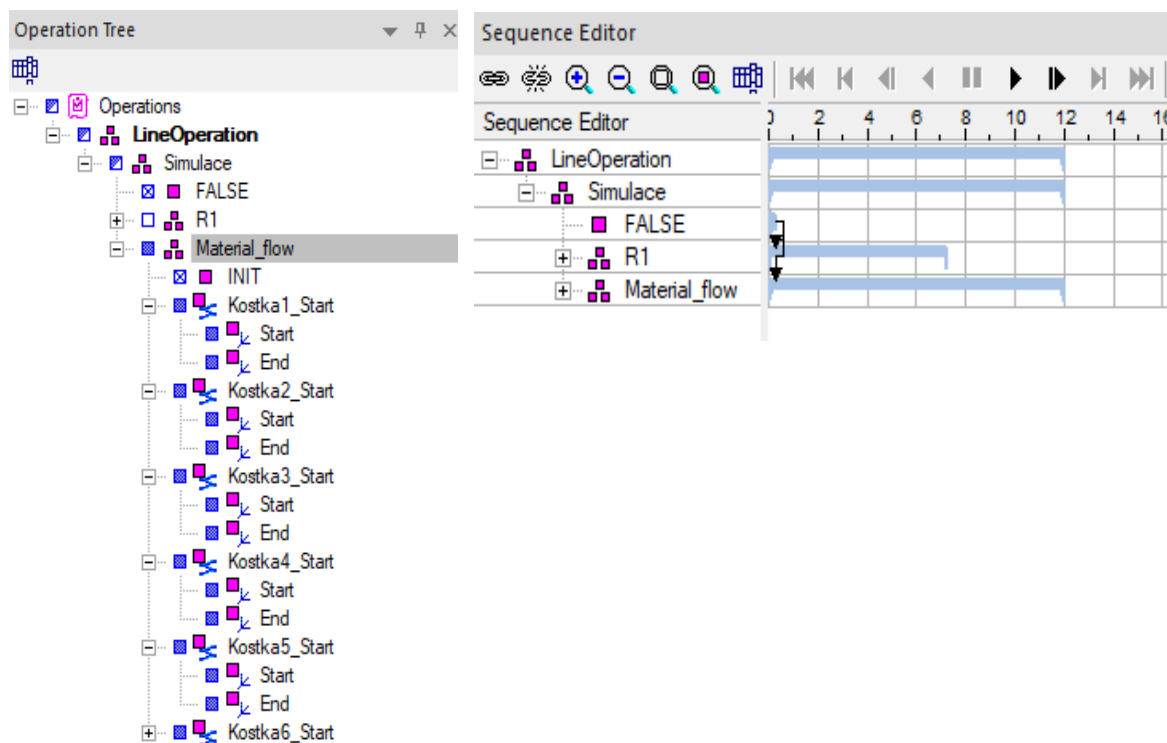
Ve skutečnosti kostky na pracoviště připravuje pracovník (student) a úkolem robotu je jejich přeskládání. Pro věrohodnost bylo nastaveno postupné zobrazování kostek na určená místa pracoviště.

Byla vytvořena operace, která zajišťuje pouze tento vizuální efekt. Použila se předdefinovaná operace „New Object Flow Operation“. Bylo zadáno jméno operace, určen objekt, se kterým se bude pohybovat, poloha Start bodu, End bodu a čas za který má být tato vzdálenost překonána.



Obrázek 47 – Vytvoření Material flow operací

Pro každou kostku byla vytvořena samostatná operace. Všechny se poté pro přehlednost vložily do složky „Material_flow“.



Obrázek 48 – Seřazení operací ve stromě

Operace INIT

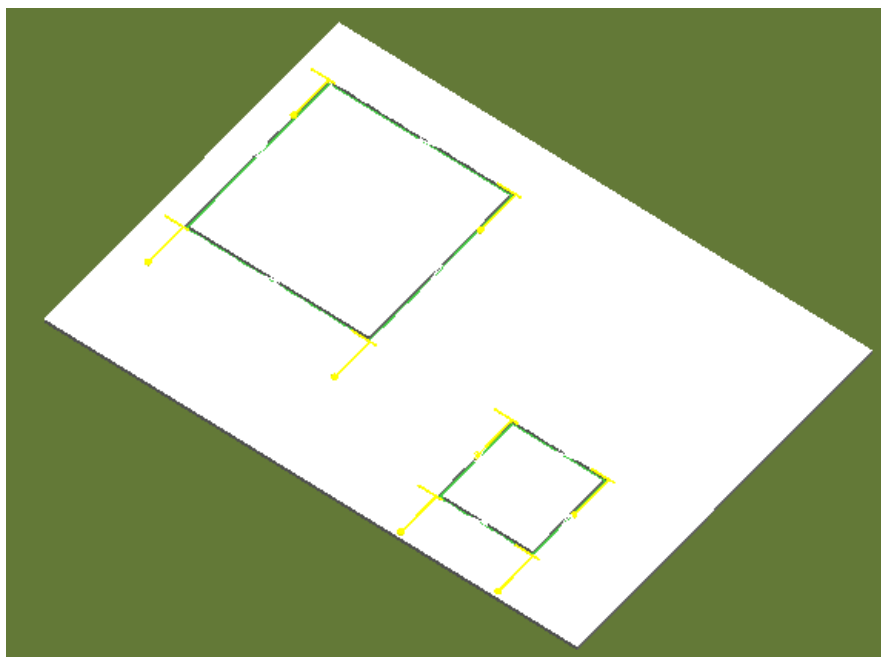
Před všechny „material_flow“ operace byly umístěny v „Operation tree“ operace „Non-Simulation operation“. Ve skutečnosti se nikdy nespustí, ale je zde nutná pro umožnění zadání signálu, který bude startovat celou simulaci. Operace byla nazvána „INIT“. Po otevření v „Sequence editoru“ se ve sloupci „Transition“ zvolí nastavení, kde se jako „Common Condition“ vybere signál, který startuje generování první kostky.

Operace „INIT“ se využije tam, kde není možné operace startovat robotickým programem.

5.3.4 Kreslení fixem

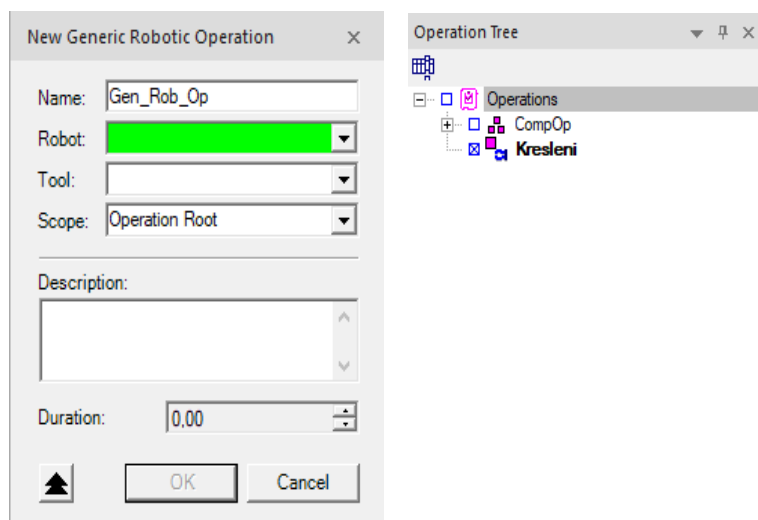
První operací je kreslení fixem, kde bylo nutné vytvořit pomocí bodů požadovanou trajektorii pohybů robotu (čáru, obrazec atd.).

V Process Simulate nebyla nalezena cesta, jak docílit, aby fix po projíždění trajektorie za sebou zanechával čáru. Pro věrohodnost simulace byl proto použit model papíru s hotovým obrazcem, který robot obkresluje.



Obrázek 49 – Papír s obrazcem

Nejdříve bylo nutné vytvořit novou operaci. Vzhledem k tomu, že se jedná o jednoduchou trajektorii byla použita „New Generic Robotic Operation“. Operaci lze vidět v „Operation tree“. Pro přehlednost byla přejmenována jako „Kreslení“.



Obrázek 50 – Tvorba operace Kreslení

Na papír byly umístěny body podle trajektorie (Obrázek 49). Je několik způsobů, jak tyto body vytvořit. V záložce „Operation“ se nachází panel s názvem „Add Location“. Zde mohu vybrat způsob vytvoření lokací (bodů). Byly využity hlavně dvě funkce, jednou je možnost „Add Location By Pick“, kdy se lokace umístí na myší zvolené místo. Dále funkce „Add Multiple Locations By Pick“ je možnost myší umístit více lokací za sebou.

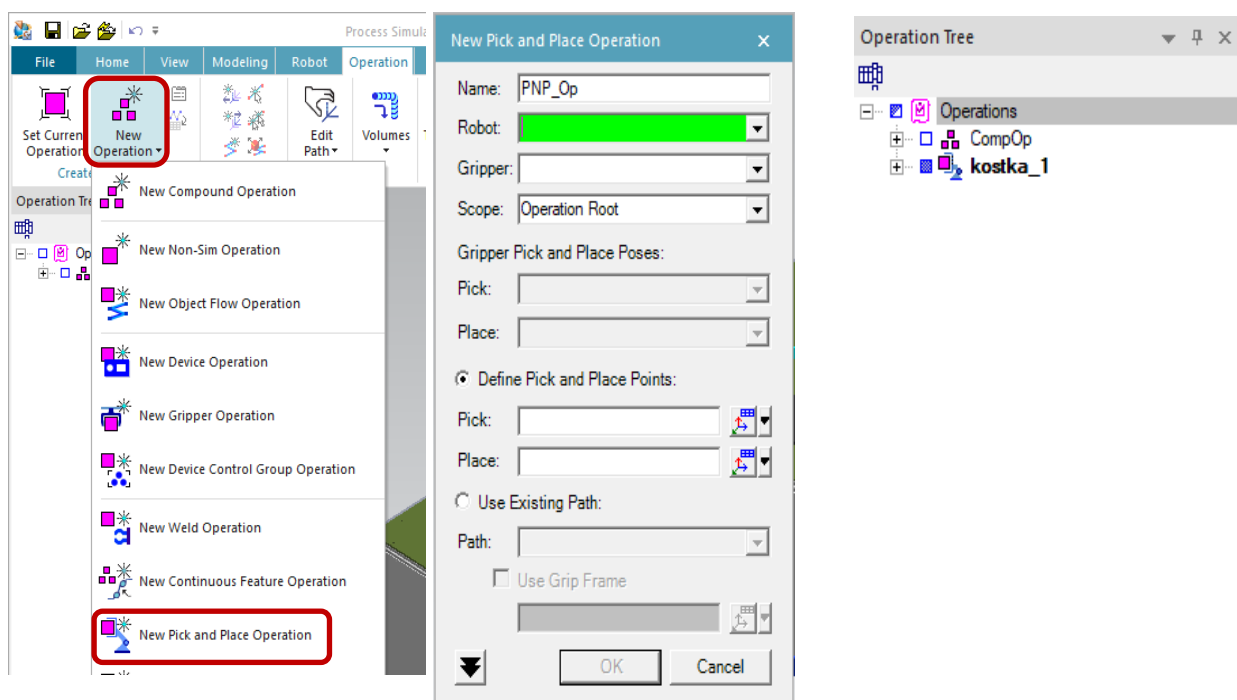
Aby robot najel do těchto bodů, bylo důležité mít osy vytvořených bodů (lokací) stejným směrem jako osy souřadného systému TCP na nástroji, v tomto případě fixu.

5.3.5 Přesun kostek

Druhou operací, která byla vytvořena je přesun kostek z určeného místa do zásobníku kostek. Do pracoviště se tedy na libovolné místo umístily kostky. Práce probíhá stále ve „Standart mode“. Kostky byly specifikovány jako typ „Part“.

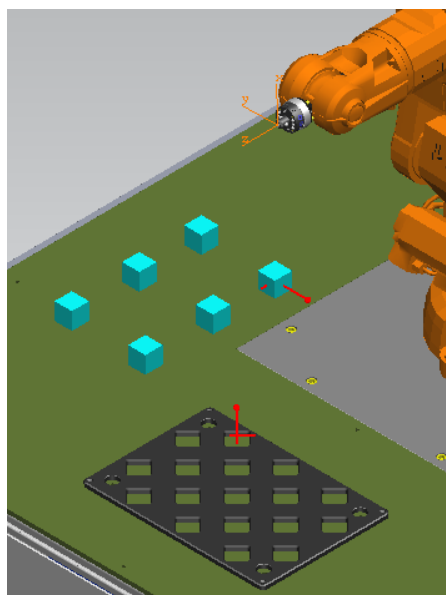
Pro přesun kostek byla použita operace „Pick and Place“ aby bylo zajištěno fungování uchopení kostky, její přesunutí a následné uvolnění. Operaci je možno najít opět v záložce Operation, zde možnost „New Operation“ a ze seznamu bylo vybráno „New Pick and Place Operation“.

Pro správné vytvoření operace bylo potřeba zadat její parametry. Vybrat robot, gripper, tedy chapadlo (efektor) a dále zadat body „Pick“ a „Place“. Tyto body byly předem vytvořeny pomocí souřadných systémů, aby se snáze do parametrů vybíraly.



Obrázek 51 – Tvorba Pick and Place Operation

Jako „Pick“ bod byl zvolen středový bod kostky, tedy její těžiště a jako „Place“ bod místo v zásobníku kostek, kam chci kostku uložit. Tento bod musel být opět ve výšce těžiště kostky, jelikož robot k umisťování používal svůj „TCP“ bod, kterým najel do těchto určených bodů. Bylo tedy nutné tyto body vhodně zvolit, aby nedocházelo ke kolizím.

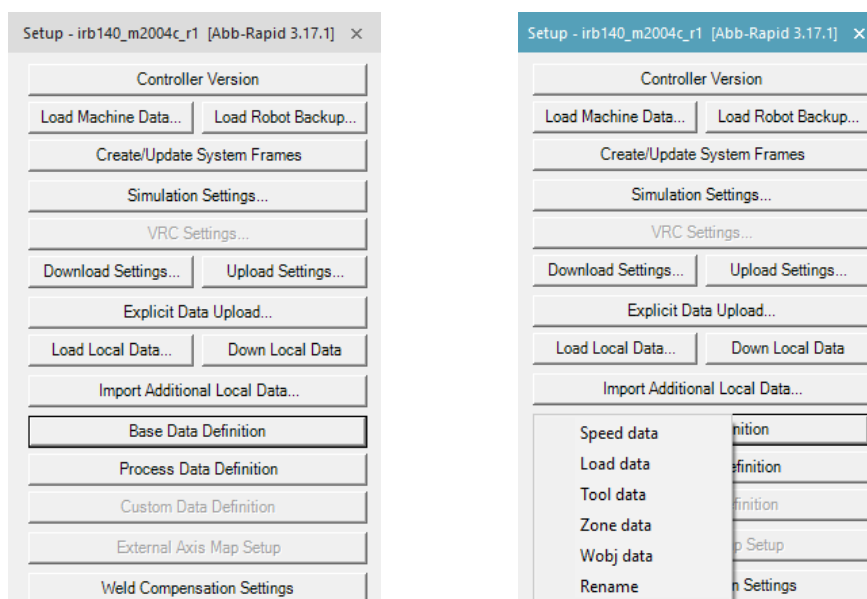


Obrázek 52 - Umístění Pick a Place bodů

Vytvořené operace se zobrazí v „Operation Tree“. Byly pojmenovány jako „kostka_1_pick“ a „kostka_1_place“. Po rozbalení operace jsou viditelné námi vytvořené lokace (body) „Pick“ a „Place“. Bylo nutné vytvořit tuto operaci pro přesun každé kostky.

V mém případě bylo přemisťováno 6 kostek, což znamená 6x operace „Pick“ i „Place“.

Vytvořené „Pick“ a „Place“ operace byly otevřeny v „Path Editoru“, nastavené potřebné parametry a ty poté přiřazeny k jednotlivým operacím. Nastavení parametrů bylo provedeno v „Robot Setup“, kam se lze dostat přes pravé tlačítko myši při kliknutí na příslušný robot. Zde byla zvolena možnost „Base Data Definition“.



Obrázek 53 – Robot Setup

Rozbalil se seznam, kde byly zvoleny všechny potřebné rychlosti, nástroje, rádiusy atd.

The image displays four overlapping windows from a robot configuration software interface:

- Speed Data**: Contains fields for 'Select data', 'Storage Type', 'Tcp Speed' (-1.00), 'Orientation' (-1.00), 'Linear External Axis' (-1.00), and 'Rotational External Axis' (-1.00). Buttons: Apply, Delete, Delete All, Close.
- Zone Data**: Contains fields for 'Select data', 'Storage Type', 'Fine Point' (FALSE), 'Tcp Movement' (with sub-fields: Tcp Path -1.00, Orientation -1.00, External Axis -1.00), and 'No Tcp Movement' (with sub-fields: Orientation -1.00, Linear External Axis -1.00, Rotational External Axis -1.00). Buttons: Apply, Delete, Delete All, Close.
- Tool Data**: Contains fields for 'Tool Data', 'Robot Hold' (True), and 'Storage Type'. It includes 'Tool Frame' and 'Center Of Gravity' sections, each with X, Y, Z coordinates and Q1-Q4 values. A 'Load Parameters' table is also present:

Mass	0.001 kg
Inertia X	0 kg.m ²
Inertia Y	0 kg.m ²
Inertia Z	0 kg.m ²
- Wobj Setup**: Contains fields for 'Wobj Data', 'Robot Hold' (False), 'User Frame Prog' (True), 'Mechanical Unit', and 'Storage Type'. It includes 'User Frame' and 'Object Frame' sections, each with X, Y, Z coordinates and Q1-Q4 values. Buttons: Apply, Delete, Delete All, Close.

Obrázek 54 – Nastavení dat robotu

Tabulka 4 – Nastavení dat robotu

Speed Data:

Tcp Speed, Orientation		Lin., Rot. Exter. Axis	
VMax	2000	500	
VMin	10	10	
V200	200	200	když sjíždím pro kostku
V500	500	500	odjíždím z pozice pick
Tool Data:		Zone Data:	WObj Data:
tChapadlo		FINE	wpapir
tFix		z0	
tSpojka		z20	
		z100	

Tabulka 5 – Příklad přiřazení dat

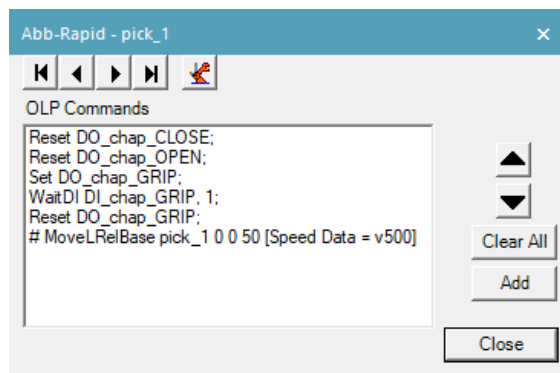
Parametr	Hodnota	Poznámka
Motion Type	Frame L	Pohyb – joint / linear
Speed Data	v200	Rychlost pohybu
Tool Data	tChapadlo	Používaný nástroj
WobjData	wPapir	Vektor posunutí pracovní nuly od nuly robota
Zone Data	FINE	Velikost zaoblení dráhy kolem bodu
OLP Commands	# MoveRelBase place_1 0 0 200	OLP – Příkazy Posunutí v ose Z o 200 mm

Bylo nastaveno, aby robot do těchto bodů najížděl chapadlem z výšky 200 mm lineárním pohybem, rychlostí 200 mm /s. Zone data byly nastaveny na „FINE“.

Paths & Locations	Motion Type	Speed Data	Tool Data	Wobj Data	Zone Data	X	Y	Z	RX	RY	RZ	OLP Commands
kostka_1_pick												
pick_1	FrameL	v200	tChapadlo		FINE	223.08	-185.28	755.00	-177.00	0.00	-90.00	Reset DO_chap_CLOSE; Reset I
kostka_1_place												# MoveRelBase place_1 0 0 200

Obrázek 55 – Data v Path Editoru

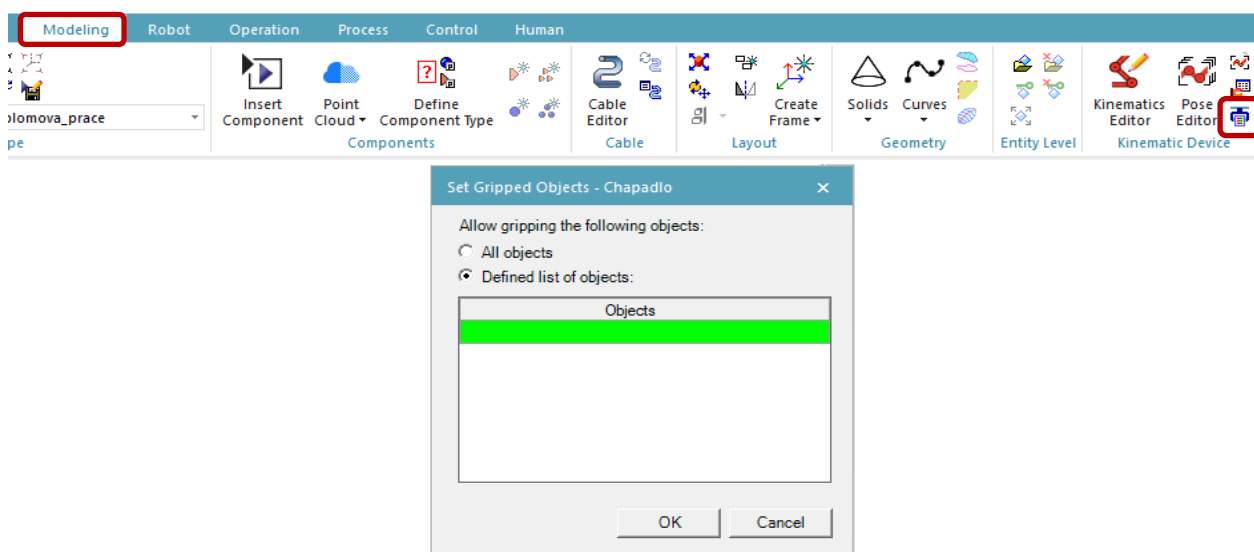
Při instalaci softwaru se automaticky vytvoří složka, ve které je uložen soubor s informací o způsobu psaní těchto příkazů. Cesta k této složce je C://Programfiles/Tecnomatix14.1.1/emPower/Robotics/OLP/ABB-Rapid/DOC/html soubor



Obrázek 56 – Pohybové příkazy

V „Path Editoru“ byly nastaveny i ostatní příkazy např. otevírání a zavírání chapadla. Ve sloupci „OLP Commands“ byly doplněny ještě příkazy pro pohyby nástroje.

Aby robot byl schopen chapadlem přesouvat kostky, musí se všechny nacházet v „Grip listu“. V záložce „Modeling“ lze najít funkci „Set Gripped Object List“.

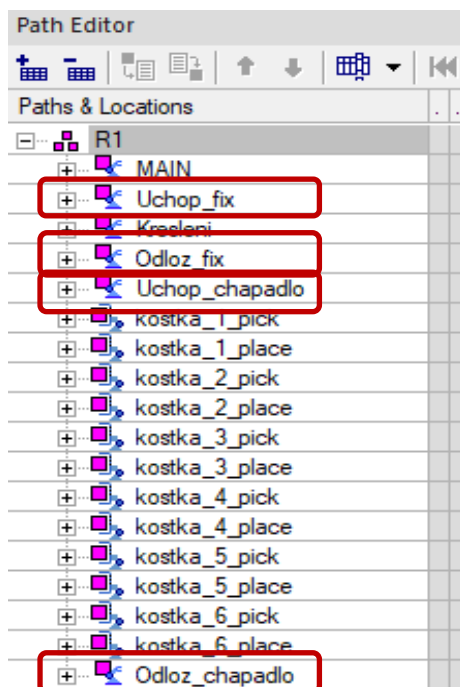


Obrázek 57 – Gripped Object List

5.3.6 Výměna nástrojů

Po dokončení základních operací, jsem se rozhodla je propojit. Byly vytvořeny čtyři nové „Generic Robotic Operation“, které byly pojmenovány podle úkonů a v „Path Editoru“ a seřazeny podle návaznosti na sebe. Součástí dříve navrženého pracoviště je i stojan sloužící pro výměnu nástrojů, který byl pro tento proces využit.

U každé z těchto operací bylo opět nutné nastavit parametry v „Path Editoru“ (Kap.5.3.5).



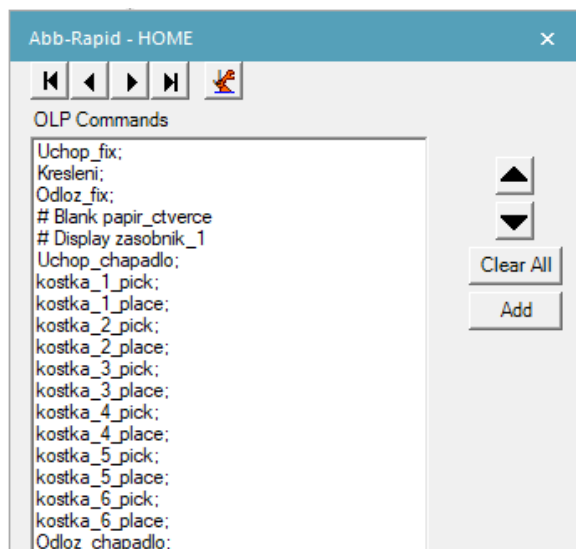
Obrázek 58 – Seřazené operace

Ve sloupci „OLP Commands“ byly nastaveny příkazy pro uchopování a odkládání nástrojů („Attach“ / „Dettach“).

Path Editor												
Paths & Locations												
R1												
MAIN												
Uchop_fix												
pozice_1	MoveJ	vMAX	tSpojka		z100	1293.28	85.17	1101.20	180.00	0.00	-45.22	
uchopeni	MoveL	v200	tSpojka		FINE	1293.28	85.17	1001.20	180.00	0.00	-45.22	# Attach Fix_pevny TOOLFRAME
pozice_2	MoveL	v1000	tSpojka		z20	1293.28	85.17	1021.20	180.00	0.00	-45.22	
pozice_3	MoveJ	vMAX	tSpojka		z100	1398.94	-21.29	1021.20	180.00	0.00	-45.22	

Obrázek 59 – Attach / Dettach

V „Path Editoru“ ve sloupci „OLP Commands“ bylo do první pozice „HOME“ vepsáno pořadí vykonávaných operací, tedy pořadí jejích volání.

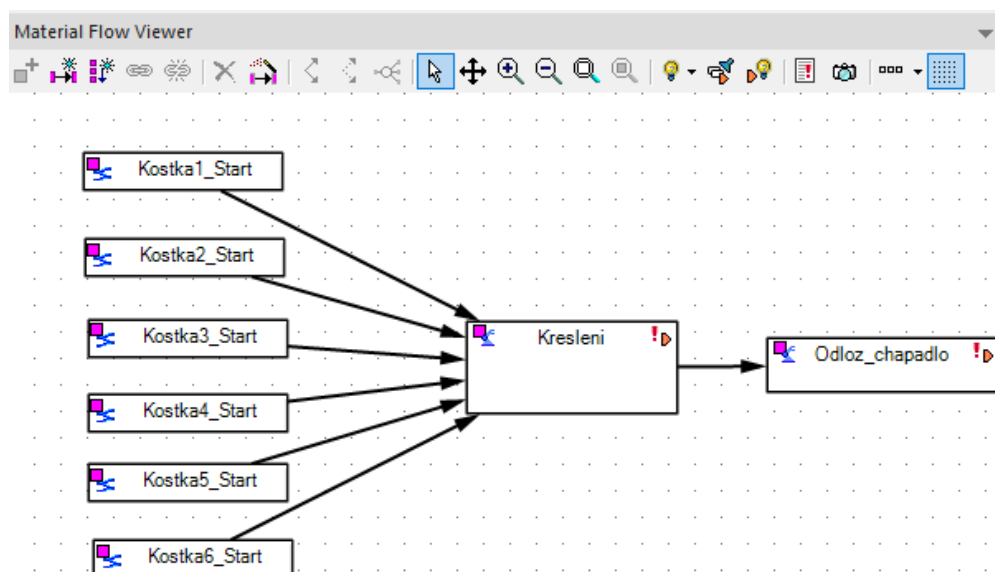


Obrázek 60 – Operace pozice Home

Po nakonfigurování těchto operací byla spuštěna animace simulace. Robot svou přírubou najel do prvního uchopovacího místa, kde byl odebrán první nástroj pro kreslení (fix). Vykonala se dříve nastavená operace „Kreslení“. Poté se odebral opět ke stojanu, kde odložil fix a v druhém uchopovacím místě stojanu odebral druhý nástroj (chapadlo) pro přesun kostek. Vykonal operaci přesouvání a na konci chapadlo opět odložil do stojanu.

5.3.7 Tok materiálu

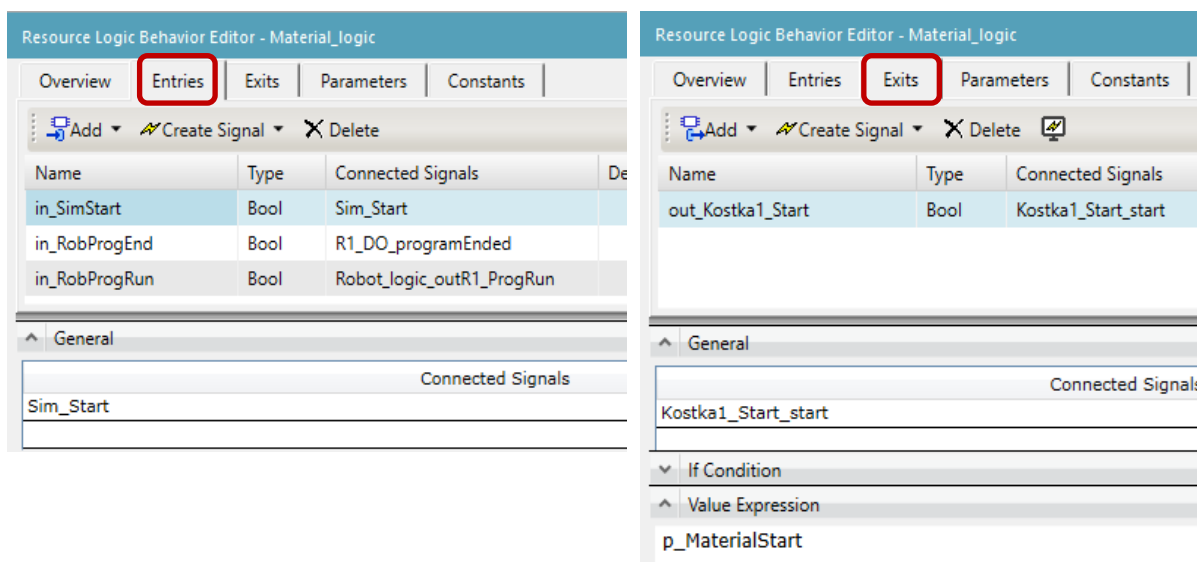
Byl nastaven tok materiálu v „Material Flow Viewer“. Po umístění všech šesti kostek na pracoviště, začala operace „Kreslení“ a dále vše pokračovalo podle vytvořeného „Operation Tree“, postupně přes manipulaci s kostkami až po poslední operaci „Odloz_chapadlo“. Dokončením této operace všechny kostky z pracoviště zmizely.



Obrázek 61 – Tok materiálu

5.3.8 Logický blok Material_logic

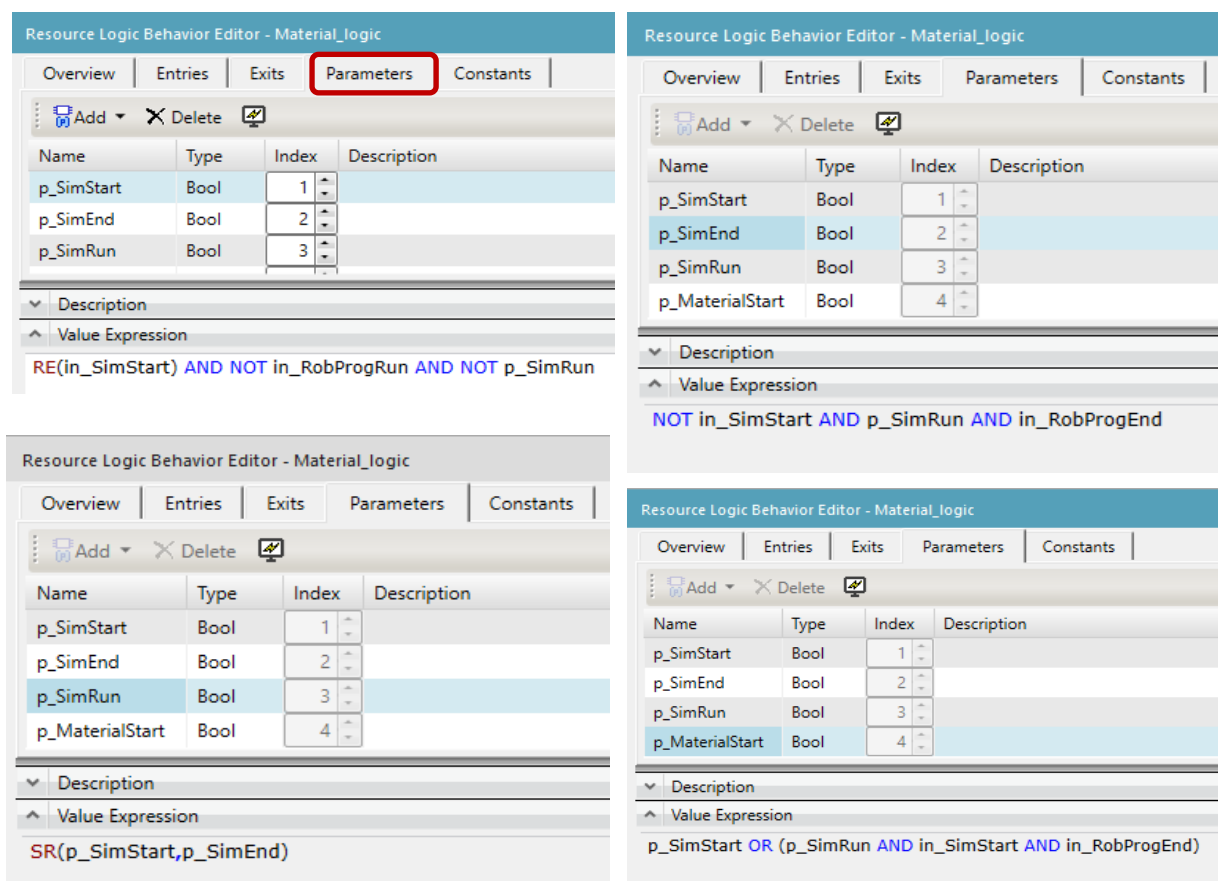
Řízení toku materiálu bylo zajištěno logickým blokem. Byly vytvořeny vstupy a výstupy PLC, kterým byly přiřazeny jednotlivé signály. Jako vstupy do PLC, tedy výstupy z robotu, byly zařazeny zapínání simlace, průběh robotického programu a konec robotického programu.



Obrázek 62 – Vstupy a výstupy log. blok material_logic

Výstupem z PLC a zároveň vstupem do robotu byl „Start generování kostky_1“.

Dále bylo potřeba nastavit parametry, to jsou vnitřní proměnné logického bloku. Slouží ke zpracování situací, jejichž stav se mění na základě pravdivosti zadaných logických rovnic. Byl nastaven parametr „Bool“ to znamená, že se stav situací bude měnit pouze zap./vyp. (0/1).



Obrázek 63 – Parametry log. blok material_logic

5.3.9 Výměna přípravků

Dalším vizuálním efektem, který pomáhá celou simulaci udělat věrohodnější jsou „Display Event“ a „Blank Event“. Tyto schopnosti zobrazovat a zneviditelnit objekty v určitých časech zajistily výměnu papíru a zásobníku kostek současně s výměnou nástrojů (fix/chapadlo) a změnou vykonávaných operací (kreslení/přesun kostek).

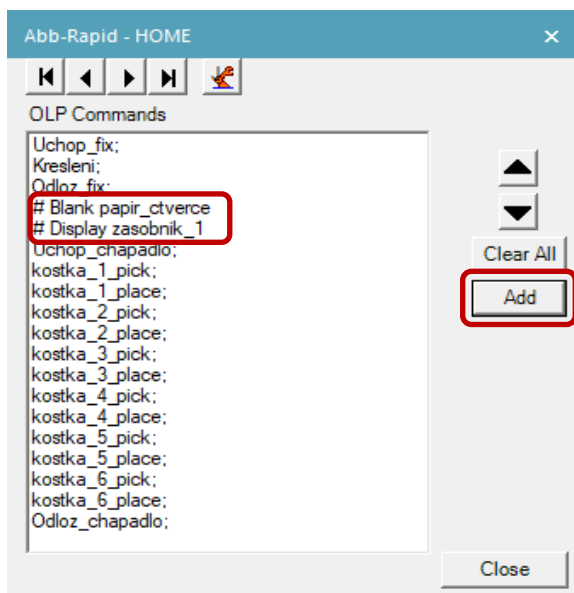
Eventy byly přidány v „Path Editoru“ připsáním do příkazů, tedy ve sloupci „OLP Commands“. Do „Path Editoru“ byla přidána pouze složka operací „MAIN“ a zde v operaci „HOME“ upraven sloupec „OLP Commands“.

V tomto sloupci byly postupně vypsány vykonávané operace. Byla zaznačena operace, do které a ve který časový okamžik má být vložen tento event a zvoleno „Add“ - „Standart Commands“ – „Graphics“ a zde vybráno „Blank“/„Display“ a nastaveno pro který objekt příkaz platí.

U příkazu se zobrazil hashtag, to znamená že při exportu programu do robotu, se tyto příkazy nebudou exportovat.

Path Editor												
Paths & Locations		Motion Type	Speed Data	Tool Data	Zone Data	X	Y	Z	RX	RY	RZ	OLP Commands
MAIN												
HOME		MoveAbsJ: H...	vMAX	tSpojka	FINE	725.18	-448.64	1447.00	-90.00	-87...	-180.00	Uchop_fix; Kreslení; Odlož_fix; # Blank
HOME		MoveAbsJ: H...	vMAX	tSpojka	FINE	725.18	-448.64	1447.00	-90.00	-87...	-180.00	

Obrázek 64 – Display / Blank event



Obrázek 65 – Příkazy s hashtagy

5.3.10 Logický blok robotu

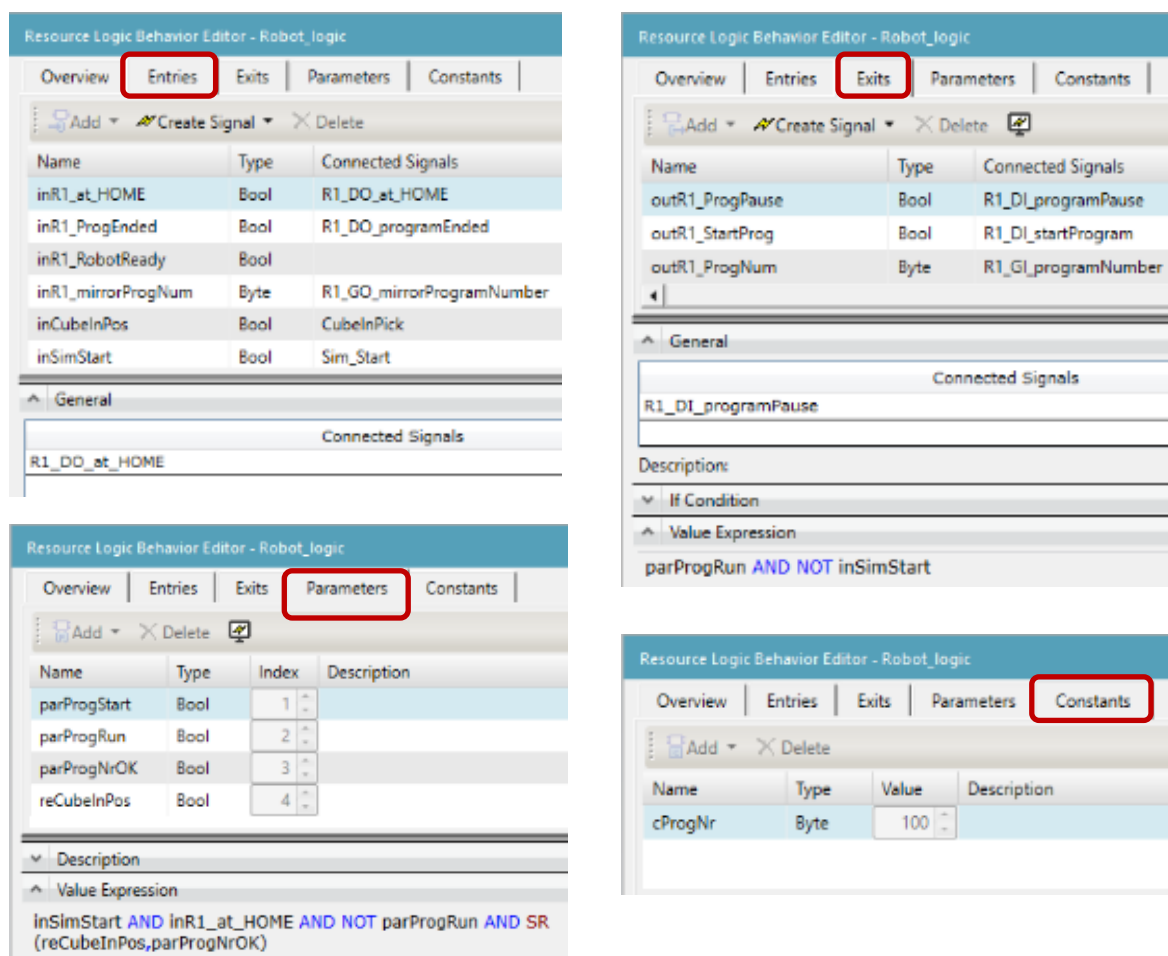
Pomocí nastavení logických bloků lze řídit jednotlivé části, ale i celé pracoviště. Úkolem tohoto logického bloku je řídit startování robotu na základě zadané podmínky.

Nastavení parametrů logického bloku robotu

Logický blok robotu byl vytvořen v záložce „Control“ možností „Create Logic Resource“. Zde bylo nutné nastavit vstupy a výstupy z PLC a vytvořit jim potřebné signály. Lze je zobrazit v kolonce „Connected Signals“. Vstupy / výstupy byly přidány pomocí „Add“. Byl vybrán typ „Bool“, což znamená 0 / 1.

Signály byly vytvořeny pomocí „Create signal“ na hlavním panelu okna. U signálu bylo důležité zadat, zda je signál vstupní nebo výstupní. Je důležité věnovat pozornost tomu, že v Process Simulate se signály berou z pohledu PLC, tedy vstupní signály „Input“ znamenají vstupní signály do PLC, ale výstupní signály z robotu/dopravníku a obráceně.

Dále v tomto okně byly nastaveny parametry čili vnitřní proměnné logického bloku. Ty slouží ke zpracování situací podle zadaných logických rovnic. Stav situací se mění na základě pravdivosti logických rovnic. Jelikož typ parametrů byl nastaven jako „Bool“, tzn. stav se mění pouze zap./vyp. (0/1).



Obrázek 66 – Logický blok robotu

Poslední záložkou jsou konstanty. Konstanta je vnitřní neměnná, je tedy pevně nastavená. Lze ji použít jako výpočetní hodnotu, anebo pomocí ní něco kontrolovat.

Byla zde nastavena pouze jedna konstanta, a to číslo robotického programu. Ta kontroluje, zda startují správný program.

6 Zdokonalení simulací

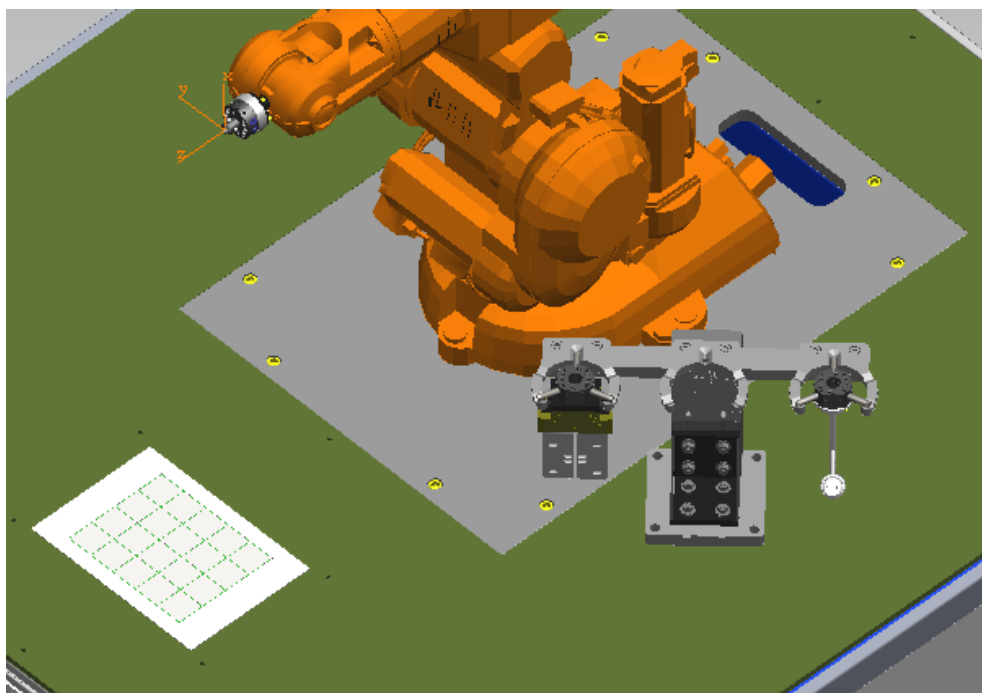
Předchozí vytvořené simulace vyplývají z mých dosavadních znalostí a zkušeností s prací v Process Simulate nabytých v rámci praxe. V této kapitole byly simulace upravovány a zdokonalovány pomocí výukových materiálů a konzultací se zkušenějšími uživateli. Model byl doplněn o další prvky k dosažení lepší a přesnější simulace celého procesu.

Robot si nejprve nakreslil na papír šachovnici, do které později vkládal kostky. Po dokreslení obrazce vyměnil svůj nástroj. Kostky na pracoviště přijížděly po dopravníku a robot je umisťoval do šachovnice.

Pro simulaci byly nastaveny jednotlivé parametry potřebné pro ovládání ABB robotu. Výsledkem byl robotický program s potřebnými pohybovými instrukcemi, který lze přenést přímo do robotu a tento cyklus si nasimulovat reálně na zadaném pracovišti umístěném v Centru Robotiky.

6.1 Kreslení šachovnice

První úpravou bylo vytvoření modelu papíru se šachovnicí. Jak už bylo dříve zmíněno, PS není schopen zanechávat za fixem viditelnou čáru po projetí trajektorie. Bylo třeba vytvořit si model papíru s již hotovou šachovnicí. Po umístění modelu do pracoviště, byly upraveny body operací tak, aby fix projížděl po šachovnici – nakreslil ji.



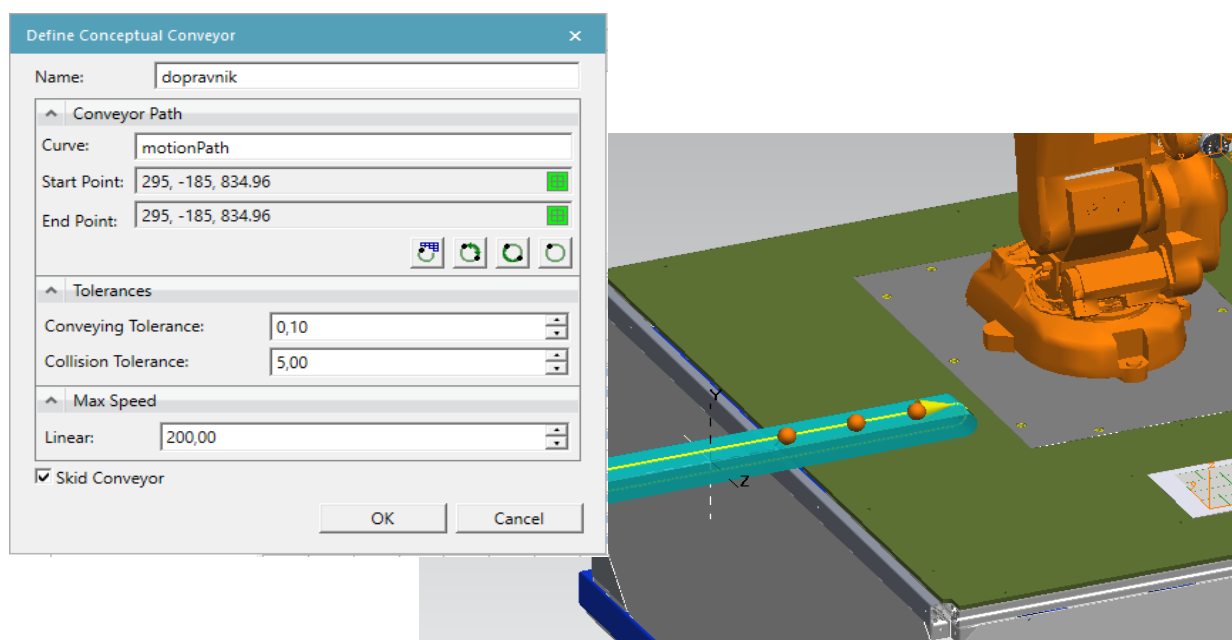
Obrázek 67 – Kreslení šachovnice

6.2 Vytvoření dopravníku

Další úpravou bylo vytvoření a zprovoznění dopravníku, který na pracoviště dodával kostky. Byl vytvořen model dopravníku a umístěn do pracoviště. Při tomto kroku bylo důležité u souboru nastavit typ „Conveyor“. Byla zvolena koncepce dopravníku, kdy po dopravníku stále jezdí vozíčky a na každém z nich přijíždí vždy jedna kostka. Pro správný pohyb bylo třeba určit trajektorii pohybu dopravníku. Dopravník byl otevřen funkcí „Set Modeling Scope“ v módu „Modeling“ a nakreslena křivka určující trajektorii pohybu vozíčků. V záložce „Modeling“ a části „Geometry“ byla zvolena možnost „Create 2D Outline“ a vykreslena křivka, stejného tvaru jako je dopravník, s umístěním v jeho středu.

Pro nastavení dopravníku byla použita záložka „Control“. Zde je přímo část „Conveyor“. Byl označen vytvořený model dopravníku v „Object Tree“ a zvolena možnost „Define Conveyor“. Dopravník byl pojmenován, nastaven počáteční a koncový bod pohybu – vytvořila se žlutá šipka, určeny jeho tolerance, a nakonec maximální rychlost (Obrázek 68). Tolerance (Conveying tolerance) zde znamená, oblast nad dopravníkem. Tedy taková oblast, která zachytí všechny objekty, které chci, aby se s dopravníkem pohybovaly. Všechny předměty umístěné v této toleranci se budou pohybovat s dopravníkem. V mém případě to jsou vozíčky a kostky.

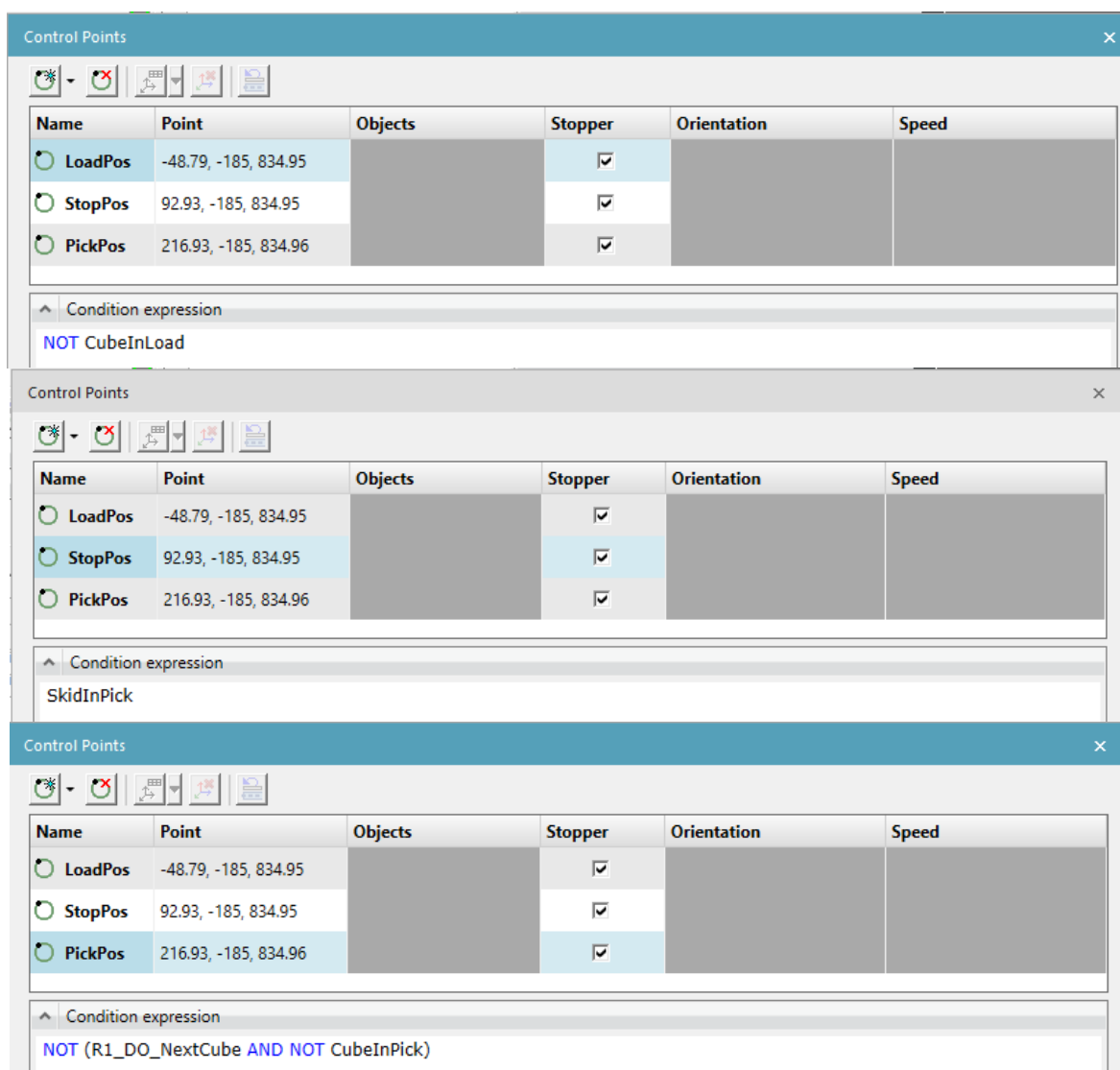
Předem vymodelované vozíčky (skidy) byly umístěny na dopravník. Při tomto kroku bylo důležité, aby byl model vozíčku definován jako „Skid“. V záložce „Control“ byla vybrána možnost „Define As Conceptual Skid“.



Obrázek 68 – Vytvoření dopravníku

6.2.1 Nastavení zastavovacích bodů

V nastavení dopravníku byly určeny zastavovací body tzv. Stoppery (Obrázek 69). Zvolení možnosti „Control Points“ umožnilo vytvoření tří zastavovacích bodů: „LoadPos“ pro doplňování kostek pracovníkem, „StopPos“ pro zastavení všech vozíčků a „PickPos“ pro zastavení jen jednoho vozíčku, který přijede do pozice, kde robot kostky odebrává. U každého tohoto bodu bylo potřeba nastavit podmínku, která zajistí, že Stopper vozíček drží a nepustí ho do další pozice (Obrázek 69). Pokud podmínka není splněna, vozík se může posunout na další stop pozici.



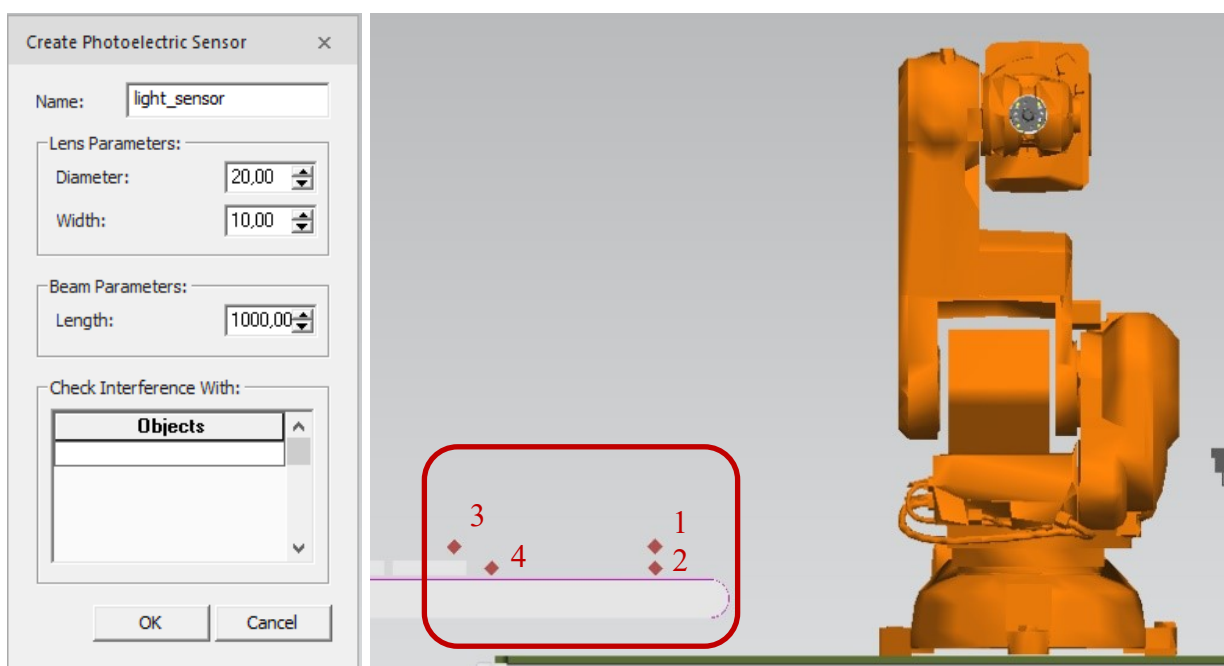
Obrázek 69 – Nastavení zastavovacích bodů

6.2.2 Nastavení senzorů

Pro snímání přítomnosti kostky na Skidech byly použity senzory. V záložce „Control“ je možnost „Sensors“. Byly vytvořeny 4 malé senzory typu „Photoelectric“ se zobrazením snímané oblasti. Byly umístěny na požadované místo, nastaveny rozměry tělesa a snímaná délka oblasti. V části „Object“ byly zadány objekty, na které má senzor reagovat, zde 2 senzory s reakcí na všechny kostky a 2 na všechny skidy.

Vytvořené senzory:

- 1 CubeDetection – senzor snímá, zda už byla kostka odebrána robotem
- 2 SkidInPick – senzor snímá, zda je skid v Pick pozici
- 3 CubeInLoad – senzor snímá, zda byla umístěna kostka pracovníkem na dopravník
- 4 SkidInLoad – senzor snímá, zda je skid v pozici, kde pracovník umisťuje kostky na dopravník



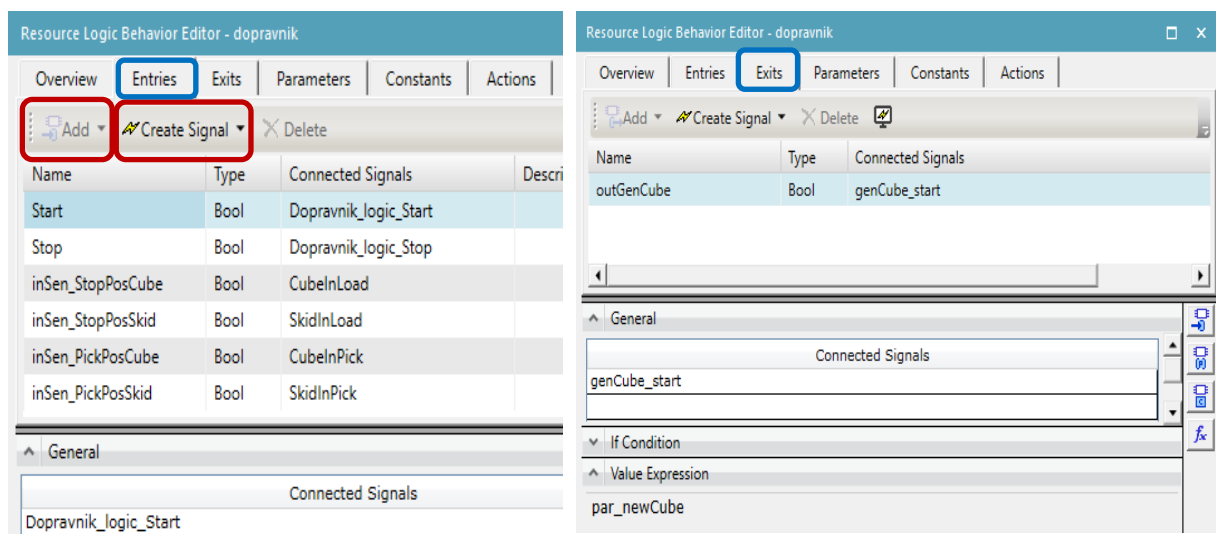
Obrázek 70 – Nastavení senzorů

6.2.3 Logický blok dopravníku

Součástí dopravníku bylo potřeba mít také logický blok, který bude dopravník ovládat. Blok řídí start/stop dopravníku, čidla a také spouští signál pro generování kostky na dopravníku, tedy simuluje ukládání kostky na dopravník pracovníkem.

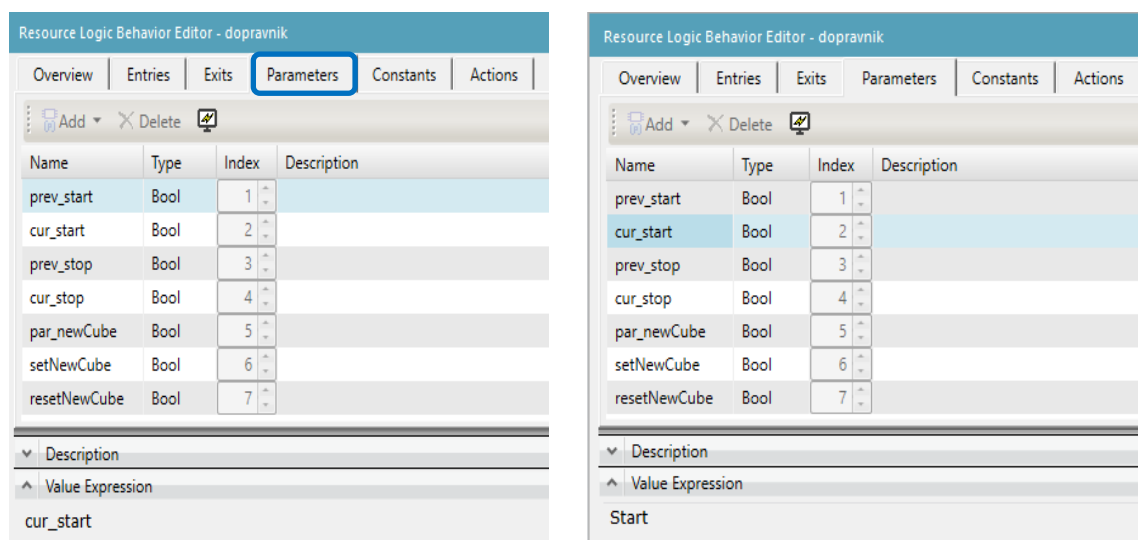
Vytvoření logického bloku již bylo popsáno v kapitole 5.3.10. Zde je zmíněno pouze nastavení jednotlivých vstupů/výstupů/parametrů a akcí.

Vstupy/Výstupy

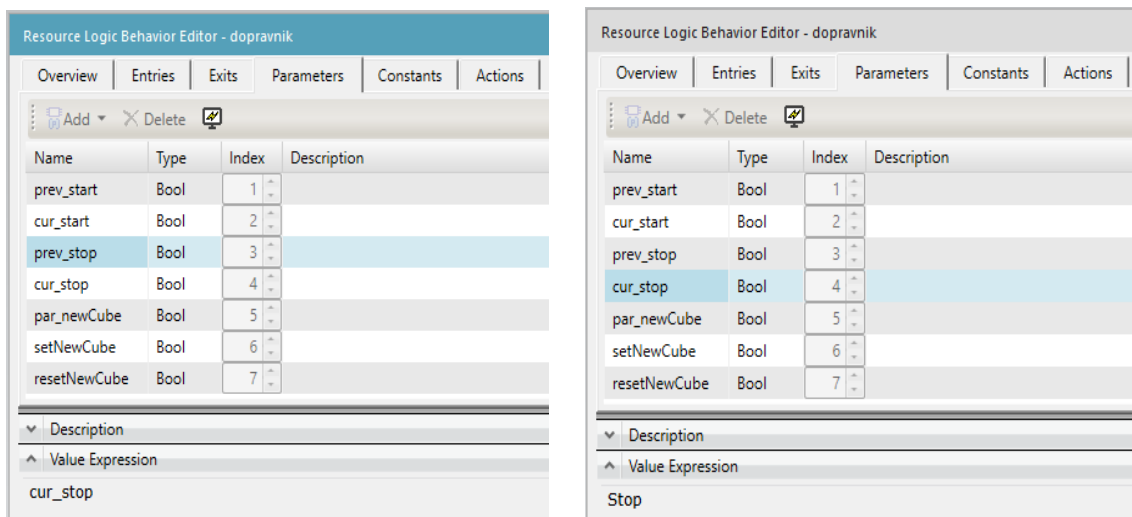


Obrázek 71 – Vstupy / Výstupy-dopravník

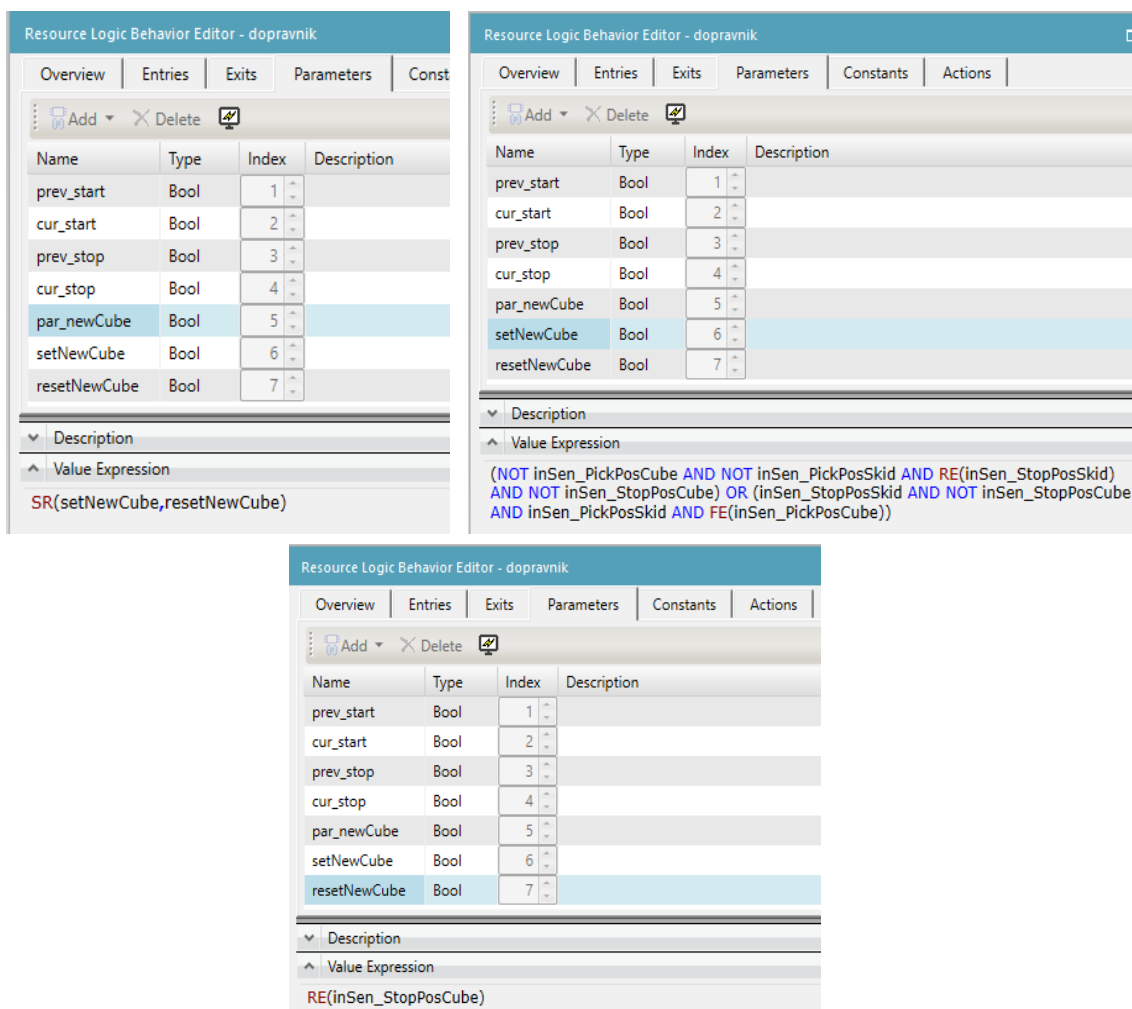
Parametry



Obrázek 72 – Parametry_1 - dopravník



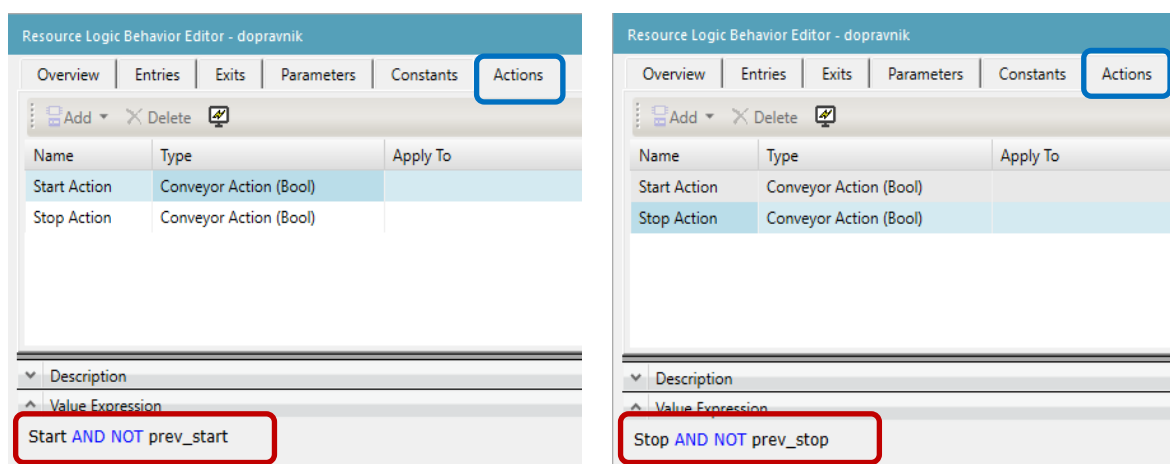
Obrázek 73 – Parametry_2 - dopravník



Obrázek 74 – Parametry_3 - dopravník

Poslední záložkou jsou Akce. Zde byla nastavena Start a Stop akce, tedy zapnutí a vypnutí dopravníku. Došlo k nastavení podmínek, za kterých budou akce probíhat. Dopravník se zapne, pokud bude zvolen Start a zároveň nedojde ke startu robotického programu – `prev_start`, a to stejné u zastavení dopravníku. Bude zastaven, pokud bude zvoleno Stop a nedojde k ukončení robotického programu – `prev_stop`.

Akce



Obrázek 75 – Akce-dopravník

6.2.4 Funkce dopravníku

Po tomto nastavení lze napsat, že funkce dopravníku je následující:

Vozíčky (Skidy) na dopravníku se nepohybují dříve, dokud na ně není umístěna kostka. Po umístění kostky, vozíčky po odjíždí na stop pozici, kde se zastaví a vždy pouze první vozíček v pořadí pokračuje na „Pick“ pozici, tedy tam, kde robot kostky z vozíčků odebírá. Pro toto odjetí vozíčku do „Pick“ pozice musí být splněny všechny zadané podmínky. Na vozíku musí být umístěna kostka a v „Pick“ pozici nesmí být další vozík s kostkou. Pokud robot odebral kostku z předešlého vozíku a na aktuální vozík pracovník umístil kostku, je možné, aby další vozík odjel do „Pick“ pozice. Předešlý prázdný vozík se vrací na začátek dopravníku.

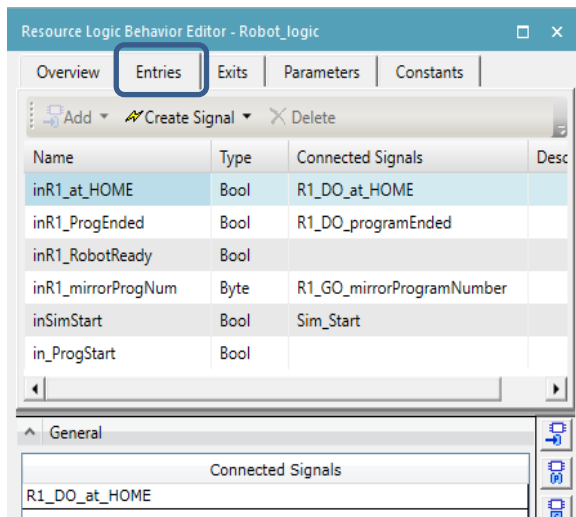
6.2.5 Úpravy při překládání kostek

Operace překládání kostek zůstává stejná, rozdíl je pouze v umístění a počtu „Pick“ a „Place“ pozic. „Pick“ pozice tu stačí pouze jedna, jelikož robot odebírá pořadí ze stejného místa z dopravníku. U „Place“ pozic bylo změněno pouze umístění.

6.3 Úprava logického bloku robotu

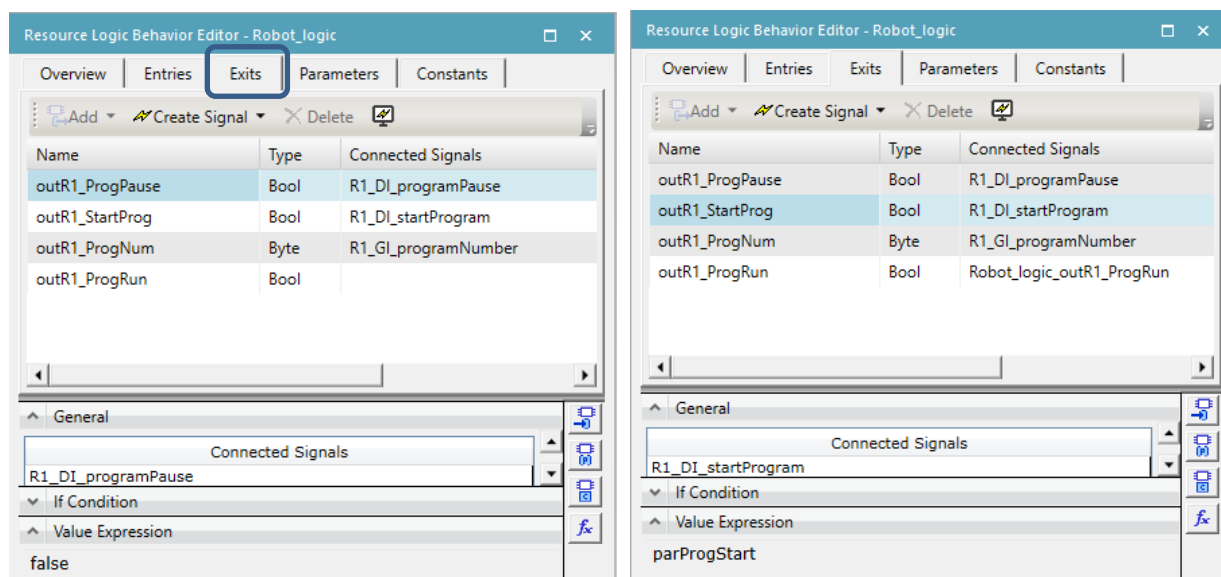
Co se týče logického bloku robotu zůstal také téměř stejný, přibyly jen další vstupy, výstupy, signály apod.

Vstupy

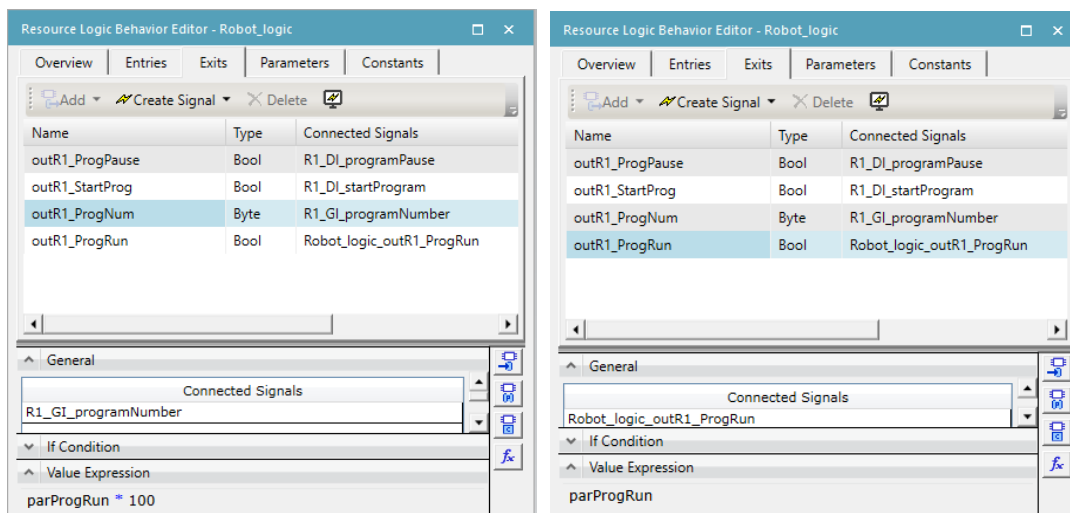


Obrázek 76 – Vstupy-log. blok robotu

Výstupy

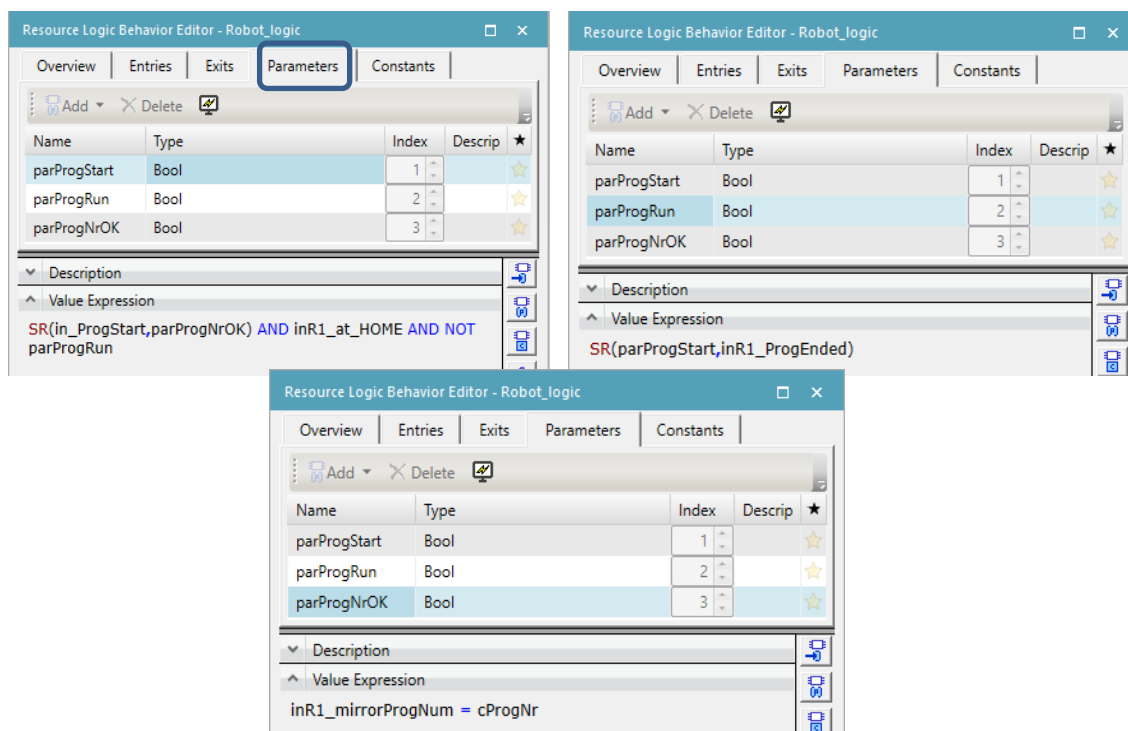


Obrázek 77 – Výstupy-log. blok robotu_1



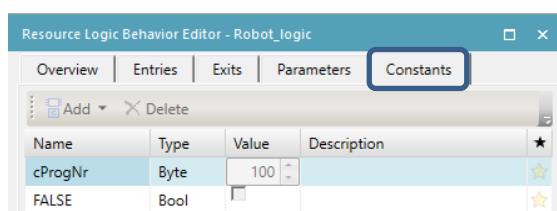
Obrázek 78 – Výstupy-log. blok robotu_2

Parametry



Obrázek 79 – Parametry - log. blok robotu

Konstanty




Obrázek 80 – Konstanty – log. blok robotu

7 Export programu do robotu

Po vytvoření logických bloků a nastavení všech parametrů do robotu, byl z Process Simulate exportován robotický program, který lze později nahrát do reálného robotu a použít.

Export bylo nutné provést pro každou vytvořenou operaci zvlášť. Byla vybrána požadovaná operace, pravým tlačítkem myši rozbaleny možnosti a zde zvoleno „Download to Robot“.



```

Download Results
Log  Uchop_fix.mod

VERSION:1
LANGUAGE:ENGLISH
$$$

MODULE Uchop_fix
!# Process Simulate Disconnected 14.1.2 to ABB Rapid download
!# -----
!# CREATED : 02/05/2019 10:33:47 by Martina Dasková
!# CELL : Diplomova_prace
!# ROBOT : irbl40_m2004c_r1

!# -----
!# ----- ROBTARGET
!# -----
LOCAL PERS robtargt pozice_1:=[27.69,568.07,366.2],[0,0.924597,0.380946,0],[-1,-1,-1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09];
LOCAL PERS robtargt uchopeni:=[27.69,568.07,266.2],[0,0.924597,0.380946,0],[-1,-1,-1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09];
LOCAL PERS robtargt pozice_2:=[27.69,568.07,286.2],[0,0.924597,0.380946,0],[-1,-1,-1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09];
LOCAL PERS robtargt pozice_3:=[134.15,673.74,286.2],[0,0.924597,0.380946,-0.000001],[-1,-1,-1],[9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09,9e+09];

!# -----
!# ----- HOMEPOSITION
!# -----

!# -----
!# ----- SPEED DATA
!# -----
TASK PERS speeddata vMAX:=[2000,500,2000,500];
CONST speeddata v200:=[200,200,200,200];
TASK PERS speeddata v1000:=[1000,1000,1000,1000];

!# -----
!# ----- ZONE DATA
!# -----
CONST zonedata z100:=[False,100,100,100,100,100,100];
CONST zonedata FINE:=[True,0,0,0,0,0,0];
TASK PERS zonedata z20:=[False,20,20,20,20,20,20];

!# -----
!# ----- TOOL DATA
!# -----
TASK PERS tooldata tSpojka:=[True, [[0,-0.03,46.5],[0.019794,-0.000001,0,-0.999804]], [0.001, [0,0,0],[1,0,0,0],0,0,0]];

!# -----
!# ----- WOBJ DATA
!# -----
TASK PERS wobjdata wobj0:=[False,True,"", [[0,0,0],[1,0,0,0]], [[0,0,0],[1,0,0,0]]];

PROC MOV_Uchop_fix()
MoveJ pozice_1,vMAX,z100,tSpojka\Wobj:=wobj0;
MoveL uchopeni,v200,FINE,tSpojka\Wobj:=wobj0;
MoveL pozice_2,v1000,z20,tSpojka\Wobj:=wobj0;
MoveJ pozice_3,vMAX,z100,tSpojka\Wobj:=wobj0;
ENDPROC

ENDMODULE
Save Close

```

Obrázek 81 – Vzor exportovaného programu

8 Souhrn doporučení pro tvorbu simulací robotizovaných pracovišť

Práce obsahuje podrobný popis vytvoření simulačního modelu konkrétní robotické buňky, která je součástí Centra robotiky univerzity. Pro uplatnění principů tvoření simulačních modelů byl v této poslední kapitole vytvořen obecný návod nebo spíše souhrn doporučení a poznatků pro tvorbu simulací robotizovaných pracovišť.

8.1 Instalace softwaru

Instalace tohoto softwaru byla provedena stejně jako u jiných CAD softwarů. Jediný rozdíl zde byl, ve výběru ze dvou variant.

Process Simulate můžeme nainstalovat buďto jako „Process Simulate Standalone“, který není propojen se žádným serverem, pracuje tedy pouze v offline režimu a vytvořené simulace se zde ukládají ve formátu .psz.

Druhou variantou je Process Simulate propojený se serverem. Tuto variantu používají především firmy, kde spolupracuje více uživatelů a pracují například na jednom společném projektu.

Pro samostatného uživatele je lepší zvolit variantu „Standalone“, u které je i jednodušší instalace a není potřeba mít žádné další softwarové doplňky jako Oracle Client apod.

8.2 Použití správného formátu souboru

Process Simulate pracuje pouze se soubory formátu .jt. Je tedy nezbytné jakýkoliv objekt, který budu chtít do softwaru vložit mít v tomto formátu. Docílit tohoto formátu není snadné. Některé CAD systémy nejsou v dnešní době schopny ukládat objekty tohoto typu. CAD systémy schopné pracovat s tímto formátem jsou např. Autodesk Inventor 2019, Solid Edge. Nebo lze použít software NX přímo od společnosti Siemens.

Po exportu se vytvoří soubor xxxx.jt. Process simulate ovšem pro otevření souboru .jt jej potřebuje mít ve složce s příponou .cojt. Byla vytvořena složka se stejným názvem jako má .jt soubor a do názvu napsáno xxxx.cojt. Po vytvoření složky do ní byl soubor .jt přetažen.

8.3 Vytvoření pracovní složky a knihovny

Pro přehlednou práci v Process Simulate byla vytvořena na disku počítače pracovní složka a v ní knihovna, která se běžně nazývá „Libroot“. V této složce byly později uloženy všechny komponenty používané v projektu.

8.4 Příprava pracovního prostředí

Pracovní prostředí se zde dělí na dvě varianty. Projekt lze otevřít buďto ve „Standart Mode“, anebo při tvorbě simulací a robotových signálů v „Line Simulation Mode“.

8.5 Vkládání součástí

Před vložením samotného komponentu bylo třeba definovat jeho typ pomocí „Define Component Type“.

Na výběr bylo několik typů. Základní přiřazování:

Robot – Robot

Svařovací nástroj robota – Gun

Uchopovací nástroj robota – Gripper

Pevné součásti, rámy atd. – Fixture

Dopravník – Conveyer

Bezpečnostní oplocení atd. - Security Window

Otočný stůl – Turn Table

Ostatní zařízení-Device, Equipment Prototype, Part Prototype, Tool Prototype

Člověk – Human

Vložení probíhá vždy tak, že základní souřadnicový systém dané součásti tzv. self se vkládá do základního souřadnicového systému pracovního prostředí tzv. working frame.

8.6 Robotické kontroléry

Pro nastavování konkrétních signálů robotu a různých robotických operací bylo potřeba mít v Process Simulate nainstalovaný kontrolér k robotu podle jeho výrobce. V této práci bylo pracováno s roboty od společnosti ABB, proto byl využit kontrolér „ABB Rapid“, který byl součástí zakoupené školní licence. Process Simulate byl tedy dále nastavován pomocí programovacího jazyka ABB.

9 Závěr

Hlavní náplní diplomové práce bylo vytvoření simulačního modelu výukového robotizovaného pracoviště s robotem ABB IRB140. Výstupem práce je společně s tímto modelem také souhrn doporučení pro jeho tvorbu.

K tomuto účelu bylo nutné analyzovat možnosti a zaměření jednotlivých nástrojů simulačního systému Tecnomatix, společně s prozkoumáním dostupných informačních zdrojů k této problematice. Byla využita především brožura výrobce tohoto systému, dále pak oficiální internetové stránky firmy Siemens.

Základním krokem bylo nastudování způsobu práce v prostředí Tecnomatix Process Simulate. Získané poznatky jsou popsány v jednotlivých kapitolách. Na jejich základě byl vytvořen simulační model zadaného robotizovaného pracoviště. U kterého došlo následně ke zdokonalení a doplnění dalších funkcí pro dosažení co možná nejlepšího výsledku. V rámci těchto úprav bylo potřeba nastavit senzory a vytvořit logické bloky pro řízení celého procesu simulace, a to pomocí operací a signálů. Z vytvořeného modelu byl vyexportován robotický program, který je nachystaný pro použití na reálném pracovišti.

Reálná aplikace vytvořeného programu by mohla být zajímavým námětem pro další pokračování práce. Nicméně v případě této diplomové práce, nebylo z časových důvodů vyzkoušení programu na reálném robotu možné, a zatím se tedy neuskutečnilo.

Pro podporu výuky práce v Process Simulate, lze tuto práci využít jako základní návod pro tvorbu simulací robotizovaných pracovišť.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN 01 6910 Úprava písemností zpracovaných textovými editory. Praha: Český normalizační institut, 2007. 48 s.
- [2] ČSN ISO 2145 (01 0184) Dokumentace: Číslování oddílů a pododdílů psaných dokumentů. Praha: Český normalizační institut, 1997. 6 s.
- [3] ČSN ISO 7144 (01 0161) Dokumentace: Formální úprava disertací a podobných dokumentů. Praha: Český normalizační institut, 1997. 24 s.
- [4] ČSN ISO 80000-1 (01 1300) Veličiny a jednotky – Část 1: Obecně. Praha: Český normalizační institut, 1994. 60 s.
- [5] ČSN ISO 690 (01 0197) Informace a dokumentace: Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů. Praha: Český normalizační institut, 2011. 40 s.
- [6] ČSN ISO 214 (01 0148). Dokumentace: Abstrakty pro publikace a dokumentaci. Praha: Český normalizační institut, 2001. 16 s.
- [7] KPC GROUP [online]. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://kpc-group.cz/blog/top-10-trend-rok-2019-4-digitalni-dvojcata-digital-twins>
- [8] SAM SOLUTION [online]. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.sam-solutions.com/blog/digital-twin-technology-why-is-it-important/>
- [9] ANSYS [online]. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.ansys.com/products/systems/digital-twin>
- [10] IoT FOR ALL [online]. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.iotforall.com/what-is-digital-twin-technology/>
- [11] IBM [online]. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.ibm.com/internet-of-things/trending/digital-twin>
- [12] YOUTUBE VIDEO [online]. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=iVS-AuSjpOQ>
- [13] MMSPEKTRUM [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/uz-mate-sve-dvojce.html>
- [14] ELOGISTIKA [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.elogistika.info/cas-digitalnich-dvojcat/>
- [15] SIEMENS [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/industryforum/digitalni-dvojce>
- [16] Axiomtech [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/24751-digitalni-tovarna-tecnomatix>
- [17] Diplomová práce [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/61108/F3-DP-2015-Simek-Pavel-simulace_vyrobnich_linek.pdf
- [18] Konstrukter.cz [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/tecnomatix-1-co-je-digitalni-tovarna>

-
- [19] Axiomtech [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25357-technomatix-plant-simulation>
- [20] Axiomtech [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/24828-technomatix-process-designer>
- [21] TMS-CZ [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <http://www.tms-cz.com/engineering-realizace-projektu/planovani>
- [22] Axiomtech [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/24830-technomatix-robotexpert>
- [23] Axiomtech [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25344-robcad>
- [24] Axiomtech [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25345-process-simulate-human>
- [25] Axiomtech [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/24829-technomatix-digitalni-tovarna-jack>
- [26] Konstrukter.cz [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/virtualni-zprovozovani-stroju-s-pomoci-process-simulate>
- [27] ITSCZ [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: http://www.itscz.net/doc/brozury_file/technomatix-process-simulate_brozura-ang-34.pdf
- [28] KVS.TUL.CZ [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/educum/MZ05/VY_03_062.pdf
- [29] Axiomtech [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.axiomtech.cz/25343-technomatix-process-simulate-robotics>
- [30] PLM Automation siemens [online]. [cit. 2018-10-21]. Dostupné z: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/products/technomatix/robotics-and-automation-programming.html>
- [31] SIEMENS [online]. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/IADT/tia_n_a_dosah/Documents/2017_duben/Simatic%20S7-PLCSIM-Advanced.pdf
- [32] Tutoriál SIEMENS [online]. [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: https://docs.plm.automation.siemens.com/tdoc/technomatix/14.0/technomatix_eMS#uid:index_xid1015765
- [33] Tutoriál [online]. [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: <https://es.scribd.com/doc/98441090/WKP115S-Activities>
- [34] Video tutoriál [online]. [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=VkpuVCi8C2A>
- [35] Výukové pracoviště s průmyslovým robotem ABB IRB140-Bc. Michal Vocetka. Ostrava, 2018. Diplomová práce. VŠB-TU Ostrava.
- [36] SCHUNK [online]. [cit. 2018-10-14]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/910-0371101-pgn-plus-80-1/
-

-
- [37] ABB-technická data IRB 140 [online]. [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-140/irb-140-technicka-data>
- [38] ABB-Product specification IRB 140 [online]. [cit. 2018-11-13]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC041346-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

Přílohy

Příloha A: CD médium – diplomová práce v elektronické podobě, přílohy v elektronické podobě.